المجلد 26 ـ العددان 10/9
سبتمبر/ أكتوبر 2010



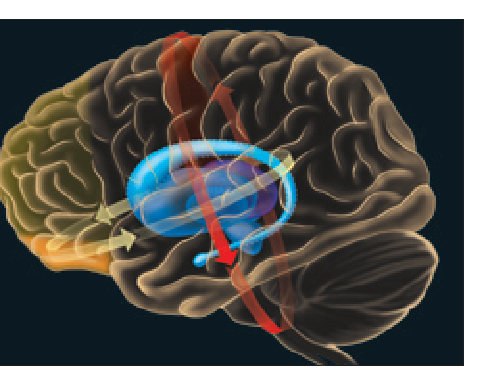
الترجمة العربية لمجلة ساينتفك أمريكان
تصدر شهريًا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

SCIENTIFIC AMERICAN
September / October 2010

المجلد 26 ـ العددان 10/9

استعصار المزيد من النفط من باطن الأرض

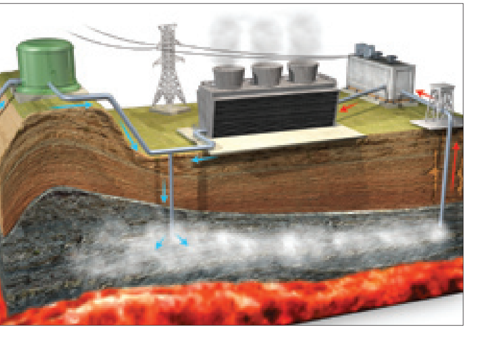
العددان 270/269 ـ السعر: 1.500 دينار كويتي



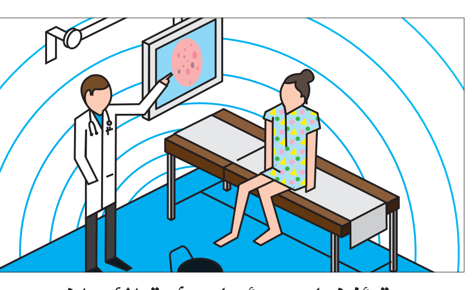
خلل في الدارات العصبية



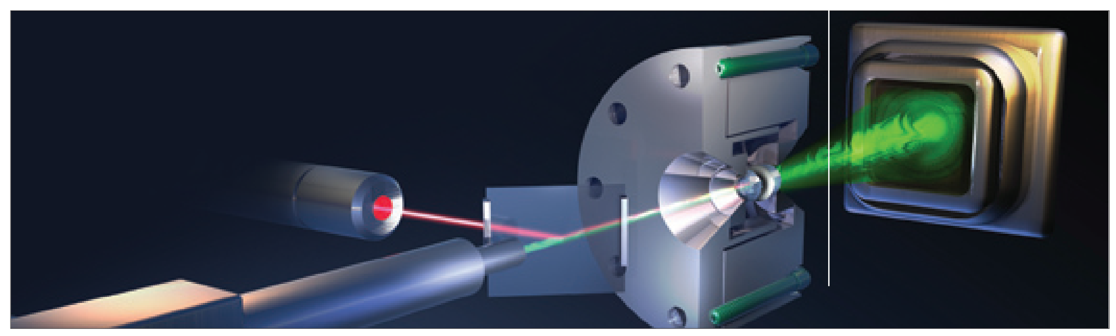
تنظيف الهواء من الكربون



إنتاج الكهرباء من مياه الصرف الصحي المعالجة



عدسة أفضل من أجل رؤية الأمراض



المكون المفقود في الكرة الأرضية

مجلة العلوم
سبتمبر/ أكتوبر 2010



الترجمة العربية لمجلة ساينتفيك أمريكان
تصدر شهريا في دولة الكويت عن
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي

المجلد 26 ـ العددان 10/9 (2010)
270/269

شارك في هذا العدد

علي الأمير أحمد
هيام بيرقدار
عبدالحافظ حلمي
عدنان الحموي
جان خوري
زياد درويش
عبدالقادر رحمو
نزار الريس
بشير الزالق
غدير زيزفون
حازم سومان
سمير شمعون
محمود عبدالرحيم
فؤاد العجل
نمر عرب
أمل كفا
إبراهيم المسلم

مراسلات التحرير توجه إلى : **رئيس تحرير مجلة العلوم**
مؤسسة الكويت للتقدم العلمي
شارع أحمد الجابر، الشرق ـ الكويت
ص.ب : 20856 الصفاة، الكويت 13069
العنوان الإلكتروني: oloom@kfas.org.kw ـ موقع الويب: www.kfas.org
هاتف : 22428186 (965+) ـ فاكس : 22403895 (965+)

الإعلانات في الوطن العربي يتفق عليها مع **قسم الإعلانات** بالمجلة.

Advertising correspondence from outside the Arab World *should be addressed to*
SCIENTIFIC AMERICAN 415, Madison Avenue, New York, NY 10017 - 1111
Or to *MAJALLAT AL-OLOOM, P.O. Box 20856 Safat, Kuwait 13069 - Fax. (+965) 22403895*

سعر العدد

الأردن	1.800	دينار	السودان	*	جنيه	الكويت	1.500	دينار	Britain	£	4
الإمارات	20	درهم	سوريا	100	ليرة	لبنان	*	ليرة	Cyprus	Cl	2.5
البحرين	1.800	دينار	الصومال	*	شلن	ليبيا	*	دينار	France	€	6
تونس	2.5	دينار	العراق	ـ	ـ	مصر	7	جنيه	Greece	€	6
الجزائر	*	دينار	عُمان	2	ريال	المغرب	30	درهم	Italy	€	6
جيبوتي	*	فرنك	فلسطين	1.25	$	موريتانيا	*	أوقية	U.S.A.	$	6
السعودية	20	ريال	قطر	20	ريال	اليمن	250	ريال	Germany	€	6

[* ما يعادل بالعملة المحلية دولارا أمريكيا ونصف الدولار (USA $ 1.5)]

الاشتراكات

ترسل الطلبات إلى **قسم الاشتراكات** بالمجلة.

	بالدينار الكويتي	بالدولار الأمريكي
* للطلبة وللعاملين في سلك التدريس و/أو البحث العلمي	12	45
* للأفراد	16	56
* للمؤسسات	32	112

ملاحظة : تحول قيمة الاشتراك بشيك مسحوب على أحد البنوك في **دولة الكويت**.

مراكز توزيع *مجلة العلوم* في الأقطار العربية:

• الإمارات: شركة الإمارات للطباعة والنشر والتوزيع ـ أبوظبي/ دار الحكمة ـ دبي • البحرين: الشركة العربية للوكالات والتوزيع ـ المنامة • تونس: الشركة التونسية للصحافة ـ تونس • السعودية: تهامة للتوزيع ـ جدة ـ الرياض ـ الدمام • سوريا: المؤسسة العربية السورية لتوزيع المطبوعات ـ دمشق • عُمان: محلات الثلاث نجوم ـ مسقط • فلسطين: وكالة الشرق الأوسط للتوزيع ـ القدس • قطر: دار الثقافة للطباعة والصحافة والنشر والتوزيع ـ الدوحة • الكويت: الشركة المتحدة لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ الكويت • لبنان: الشركة اللبنانية لتوزيع الصحف والمطبوعات ـ بيروت • مصر: الأهرام للتوزيع ـ القاهرة • المغرب: الشركة الشريفية للتوزيع والصحافة ـ الدار البيضاء • اليمن: الدار العربية للنشر والتوزيع ـ صنعاء.

يمكن تزويد المشتركين في العلوم بنسخة مجانية من **قرص CD** يتضمن خلاصات مقالات هذه المجلة منذ نشأتها عام **1986** والكلمات الدالة عليها. ولتشغيل هذا القرص في جهاز **مُدعم بالعربية**، يرجى اتباع الخطوات التالية:

1- اختر Settings من start ثم اختر Control Panel
2- اختر Regional and Language Options
3- اختر Arabic من قائمة Standards and formats ثم اضغط OK

بزيارة الموقع **www.kfas.org** يمكن الاطلاع على صفحة محتويات الإصدار الأخير لـ العلوم باللغتين العربية والإنكليزية، وعلى معلومات حول الاشتراكات في هذه المجلة.



المجلد 26 ـ العددان 10/9

سپتمبر/ أكتوبر 2010





ترجمة أو مراجعة

«***مجلة العلوم***» تصدر شهريًا في الكويت منذ عام 1986 عن «**مؤسسة الكويت للتقدم العلمي**» وهي مؤسسة أهلية ذات نفع عام، يرأس مجلس إدارتها صاحب السمو أمير دولة الكويت، وقد أنشئت عام 1976 بهدف المعاونة في التطور العلمي والحضاري في دولة الكويت والوطن العربي، وذلك من خلال دعم الأنشطة العلمية والاجتماعية والثقافية. و«مجلة العلوم» هي في ثلثي محتوياتها ترجمة لـ«***ساينتفيك أمريكان***» التي تعتبر من أهم المجلات العلمية في عالم اليوم. وتسعى هذه المجلة منذ نشأتها عام 1845 إلى تمكين القارئ غير المتخصص من متابعة تطورات معارف عصره العلمية والتقانية، وتوفير معرفة شمولية للقارئ المتخصص حول موضوع تخصصه. تصدر «***ساينتفيك أمريكان***» بثماني عشرة لغة عالمية، وتتميز بعرضها الشيق للمواد العلمية المتقدمة وباستخدامها القيّم للصور والرسوم الملونة والجداول.

خَلَل في الدارات العصبية[*]

العلوم العصبية الحديثة تكشف عن اضطرابات شبكات اتصال الدماغ التي تنشأ عنها اضطرابات نفسية، وتدفع الأطباء النفسيين إلى إعادة التفكير في أسباب هذه الأمراض[١].

<Th. R. إنسِلْ>

ما نعرفه تاريخيا، هو أن الأطباء من جميع الاختصاصات تقريبا كانوا يحاولون دائما استقصاء الأسباب الكامنة خلف الداء الذي يُصيب مرضاهم قبل أن يقوموا بوضع خطة علاجية من شأنها إزالة المشكلة من جذورها. إلاّ أن الحال لم تكن كذلك في الماضي عندما كان الأمر يتعلق بالأمراض العقلية أو السلوكية نظرا لعدم توفر الوسائل القادرة على اكتشاف أسباب عضوية لها. وهكذا، فقد ظلّ الأطباء لأمد طويل يعتقدون أنّ هذه الأمراض لم تكن سوى أمراض «**عقلية**» mental، ويَصِفون للمصابين بها **علاجا سيكولوجيا**[٢]. أما اليوم، فإن وسائل البحث العلمي المتوفرة، القائمة على أسس البيولوجيا الحديثة والعلوم العصبية وعلم **الجينوميات** genomics، قد أخذت شيئا فشيئا تدحر النظريات السيكولوجية الصرفة والتي سادت وحدها نحو قرن من الزمن، وتستعيض عنها بأساليب علاجية جديدة للأمراض العقلية.

هناك عدد كبير من الأمراض التي كانت تُدرج تحت عنوان الأمراض «العقلية»، قد تم اليوم الإجماع على أن لها سببا بيولوجيا: **فالتوحد** autism، على سبيل المثال، ينشأ على خلفية خلل يُصيب الوصلات ما بين **النورونات (العصبونات)** neurons قد يكون سببه طفرات جينية، **ومرض الفصام** schizophrenia يُنظر إليه اليوم كمرض من أمراض الدماغ التطورية ويُعالج انطلاقا من هذه الرؤية. إلاّ أن الجمهور وعددا من الأطباء الممارسين – مازالوا يجدون صعوبة في قبول أن هناك أمراضا عقلية أخرى، **كالاكتئاب** depression أو **الوسواس القهري** (OCD)[٣] أو **اضطراب الكرْب التالي للصدمة (للشدّة النفسية)** (PTSD)[٤]، يُمكن أن تكون هي أيضا من اضطرابات الدماغ الفيزيولوجية.

لقد ظل فهمنا لمثل هذه الاضطرابات العقلية حتى الآن يعاني الالتباس والتخلف مقارنة بالمجالات الطبية الأخرى. ويعود السبب الرئيسي في ذلك إلى أن الأمراض العقلية لا تترافق بأضرار ماثلة للعيان في بنية الدماغ – أي ليس لها سبب عضوي صريح – وذلك على خلاف الأمراض العصبية الكلاسيكية؛ كمرض پاركنسون والسكتة الدماغية ومُخلّفاتها، حيث يفصح الضرر المادي عن نفسه بجلاء. بيد أن تقانات التصوير المعاصرة المخصصة

مفاهيم مفتاحية

- لأن الأمراض العقلية[١]، كالاكتئاب مثلا، لا تترافق بظهور أضرار مرئية في الدماغ، فقد شاع الاعتقاد لأمد طويل أنها تنشأ عن أسباب نفسية محضة.
- تُبين طرائق التصوير العصبي أن نشاطا غير عادي على إحدى الدارات الدماغية المشاركة في معالجة الوظائف الذهنية، قد يسبب الكثير من الاضطرابات العقلية، مظهرا للمرة الأولى الخلل المادي المؤدي إلى الأعراض العقلية.
- إن فهم بيولوجيا الاضطرابات العقلية سوف يُوضّح لنا الأرضية التي يقوم عليها الاضطراب الوظيفي في الدارة العصبية، ومن ثم يساعدنا على تطوير طرائق تشخيصية موضوعية وتقديم طرق علاجية هادفة.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) FAULTY CIRCUITS

(١) قد يكون مصطلح «المرض النفسي» مقابلا لنظيره الإنكليزي mental illness هو مفهوميا أكثر دقة في بعض الحالات من تعبير «المرض العقلي» وذلك نظرا لوجود أمراض نفسية تنشأ أيضا عن خلل في الدارات العصبية، ولكنها تُصيب المشاعر والانفعالات بوجه رئيسي، من دون أن تترافق بخلل في المنظومة العقلية.

(٢) «**المعالجة السيكولوجية**» psychotherapy هي المعالجة الكلامية (غير الدوائية) التي يتلقاها المريض على يد المختص بها. (التحرير)

(٣) obsessive-compulsive disorder

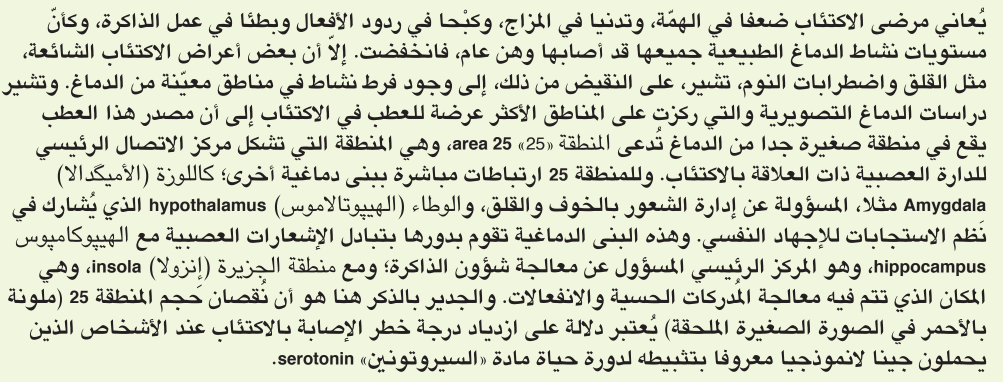
(٤) post-traumatic stress disorder



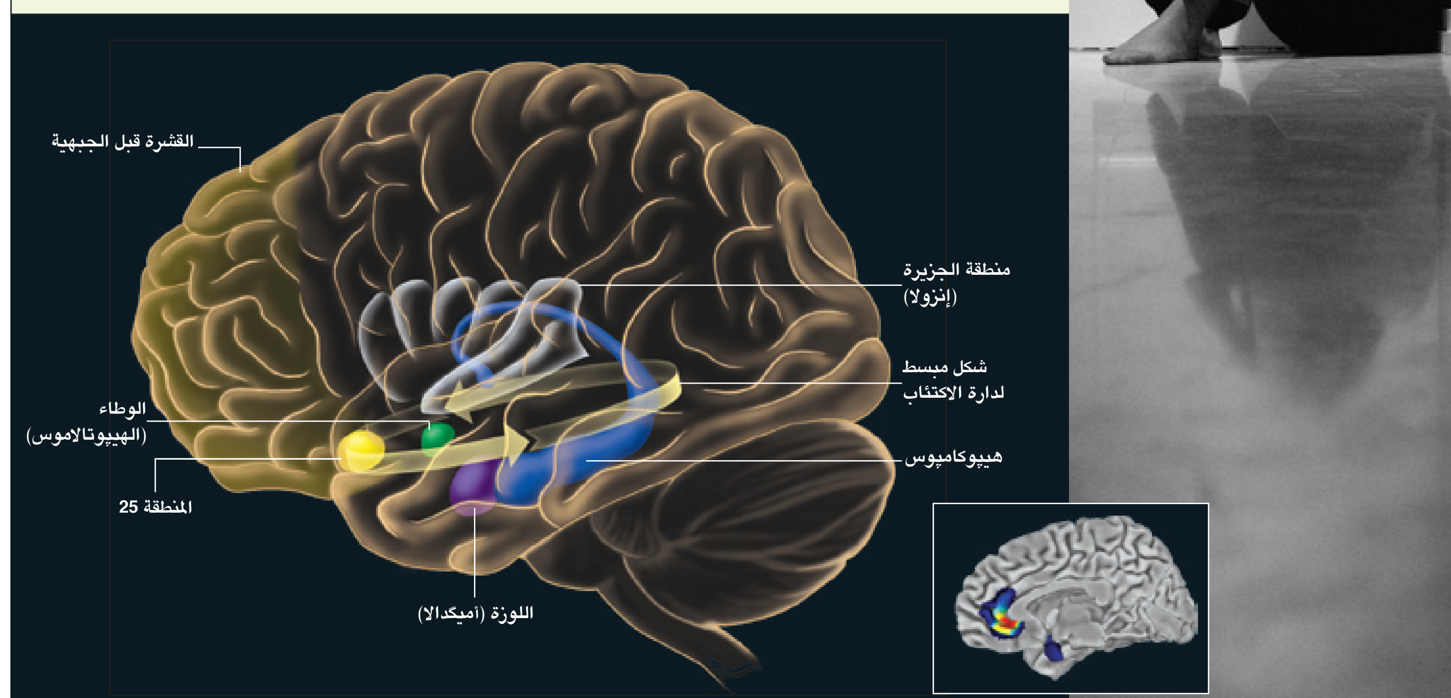
لرسم خرائط وظيفية للدماغ الحي، صارت قادرة على رصد الخلل الذي يطرأ على النشاط الوظيفي في المحطات المختلفة للدماغ أو في شبكات اتصالاتها، وذلك حتى في الحالات التي لا تترافق بضياع مرئي لخلايا الدماغ.

لقد قامت تقانة التصوير العصبي بكشف غطاء «الصندوق الأسود» الخاص بالدماغ، بحيث أصبحنا قادرين لأوّل مرة على دراسة الاضطرابات العقلية انطلاقا من الفرضية القائلة إنها تنشأ على أرضية اضطرابات تُصيب شبكات اتصال محطات الدماغ المتباعدة، أو تنشأ في بعض الحالات على خلفية خلل في تنسيق العمل بين محطات دماغية تعمل عادة على نحو متزامن بعضها مع بعض. ويُمكن تشبيه محطات الدماغ،

ناظمة المزاج(*)



يُعاني مرضى الاكتئاب ضعفا في الهمّة، وتدنيا في المزاج، وكبْحا في ردود الأفعال وبطئا في عمل الذاكرة، وكأنّ مستويات نشاط الدماغ الطبيعية جميعها قد أصابها وهن عام، فانخفضت. إلاّ أن بعض أعراض الاكتئاب الشائعة، مثل القلق واضطرابات النوم، تشير، على النقيض من ذلك، إلى وجود فرط نشاط في مناطق معيّنة من الدماغ. وتشير دراسات الدماغ التصويرية والتي ركزت على المناطق الأكثر عرضة للعطب في الاكتئاب إلى أن مصدر هذا العطب يقع في منطقة صغيرة جدا من الدماغ تُدعى المنطقة «25» area 25، وهي المنطقة التي تشكل مركز الاتصال الرئيسي للدارة العصبية ذات العلاقة بالاكتئاب. وللمنطقة 25 ارتباطات مباشرة ببنى دماغية أخرى؛ كاللوزة (الأميگدالا) Amygdala مثلا، المسؤولة عن إدارة الشعور بالخوف والقلق، والوطاء (الهيپوتالاموس) hypothalamus الذي يُشارك في نُظم الاستجابات للإجهاد النفسي. وهذه البنى الدماغية تقوم بدورها بتبادل الإشعارات العصبية مع الهيپوكامپوس hippocampus، وهو المركز الرئيسي المسؤول عن معالجة شؤون الذاكرة؛ ومع منطقة الجزيرة (إنزولا) insola، وهي المكان الذي تتم فيه معالجة المدركات الحسية والانفعالات. والجدير بالذكر هنا هو أن نُقصان حَجم المنطقة 25 (ملونة بالأحمر في الصورة الصغيرة الملحقة) يُعتبر دلالة على ازدياد درجة خطر الإصابة بالاكتئاب عند الأشخاص الذين يحملون جينا لانموذجيا معروفا بتثبيطه لدورة حياة مادة «السيروتونين» serotonin.



التي تعمل معا لإنجاز عمليات ذهنية طبيعية، بمجموعة من الدارات الكهربائية التي إذا اختلّت وظيفتها يمكن أن تُحرّض عددا من الاضطرابات العقلية، كما تشير نتائج البحث العلمي الأخيرة.

ومع أن تفاصيل ما يُطلق عليه اليوم مصطلح «**الرسم البياني**» circuit diagram أو «**الخارطة**» map الخاصّة بكل اضطراب من تلك الاضطرابات لاتزال قيد التطوير، فإن هذه الرؤية الجديدة أخذت تزعزع أركان الطب النفسي، وتُحدث تحولات عميقة في داخله، وتفتح أبوابه أمام مزيد من التشخيص التجريبي للأمراض العقلية، وتزودنا بطريقة تفكير مُعَمّقة في أسباب هذه الأمراض من شأنها أن تفتح آفاقا جديدة أمام المساعي الرامية إلى تطوير أساليب علاجية أكثر فعالية.

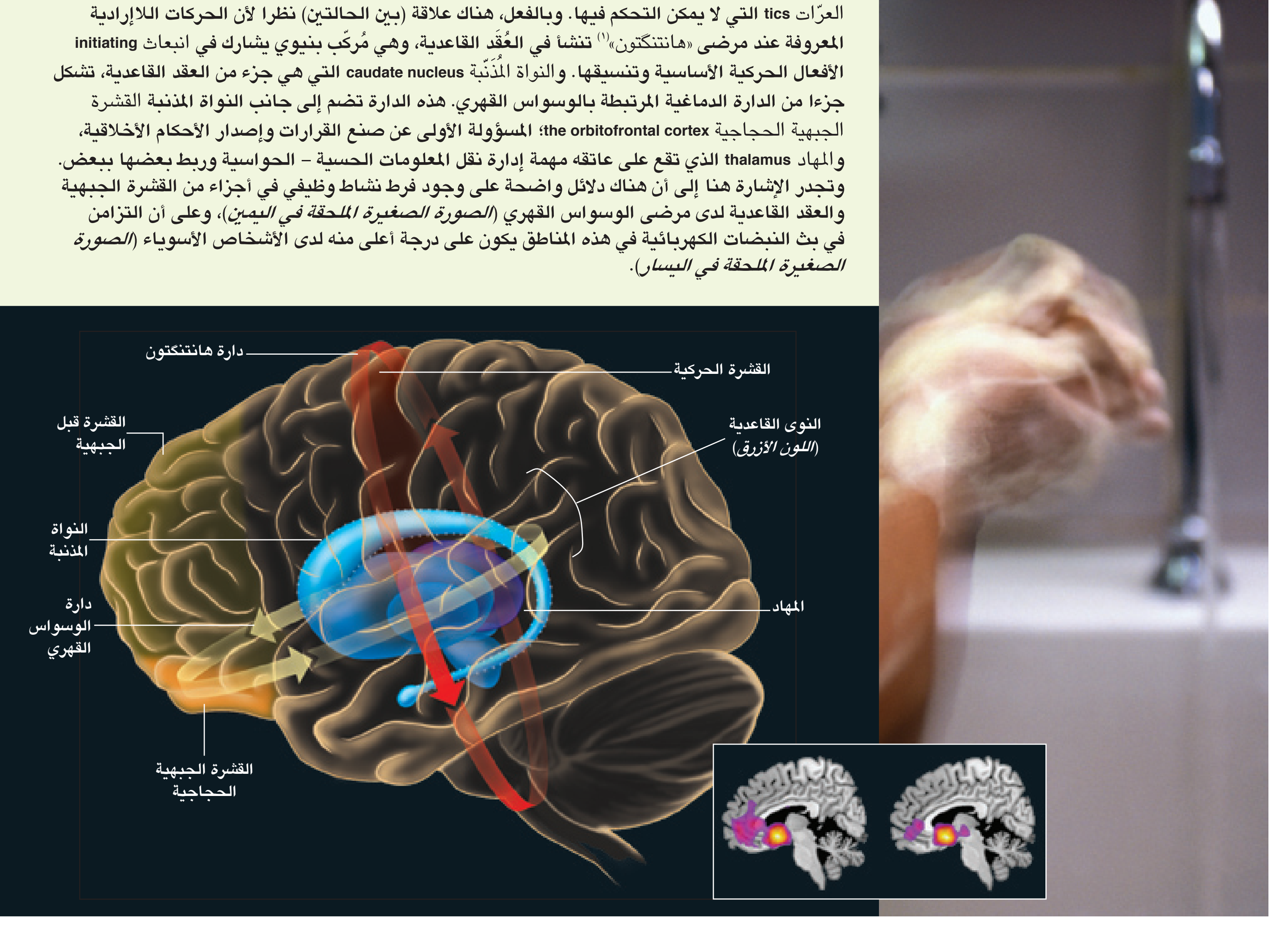
عجْز في رفع معدل السرعة؟(**)

لعلنا نجد في الاكتئاب خير مثال على التقدم السريع والذي تم إحرازه مؤخرا في فهمنا لبيولوجيا الأمراض العقلية. **فالاضطراب الاكتئابي الكبير** major depressive disorder؛ وهو المصطلح الرسمي

(*) GOVERNOR OF MOOD
(**) Stuck in Overdrive?

مُحرّض دائم[*]

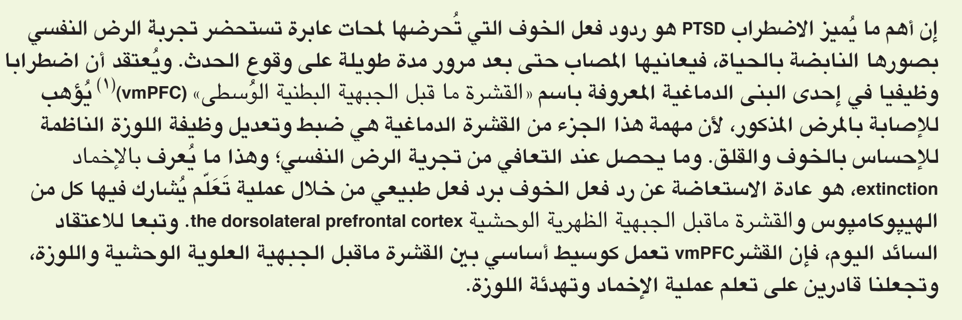
يُفيد المصابون بمرض الوسواس القهري بأن أفكارهم القهرية، ودوافعهم القوية للقيام بأفعال تكرارية، تشبه العرّات tics التي لا يمكن التحكم فيها. وبالفعل، هناك علاقة (بين الحالتين) نظرا لأن الحركات اللاإرادية المعروفة عند مرضى «هانتنگتون»[1] تنشأ في العُقَد القاعدية، وهي مُركّب بنيوي يشارك في انبعاث initiating الأفعال الحركية الأساسية وتنسيقها. والنواة الْمُذَنَّبة caudate nucleus التي هي جزء من العقد القاعدية، تشكل جزءا من الدارة الدماغية المرتبطة بالوسواس القهري. هذه الدارة تضم إلى جانب النواة المذنبة القشرة الجبهية الحجاجية the orbitofrontal cortex؛ المسؤولة الأولى عن صنع القرارات وإصدار الأحكام الأخلاقية، والمهاد thalamus الذي تقع على عاتقه مهمة إدارة نقل المعلومات الحسية - الحواسية وربط بعضها ببعض. وتجدر الإشارة هنا إلى أن هناك دلائل واضحة على وجود فرط نشاط وظيفي في أجزاء من القشرة الجبهية والعقد القاعدية لدى مرضى الوسواس القهري (*الصورة الصغيرة الملحقة في اليمين*)، وعلى أن التزامن في بث النبضات الكهربائية في هذه المناطق يكون على درجة أعلى منه لدى الأشخاص الأسوياء (*الصورة الصغيرة الملحقة في اليسار*).



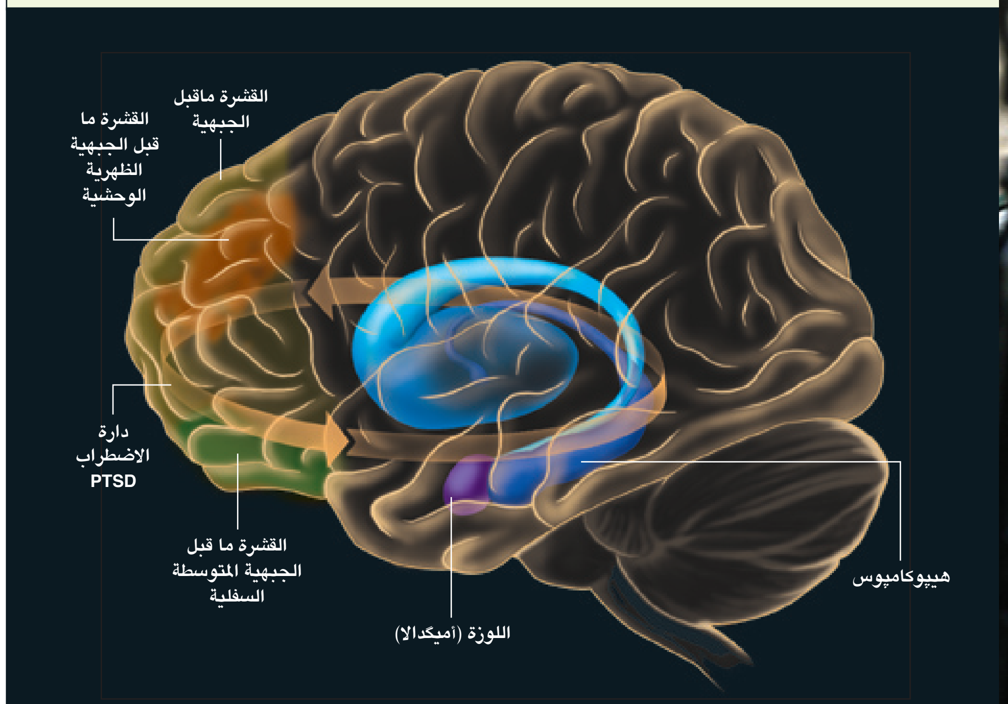
المستخدم في تشخيص الاكتئاب، يُصيب 16 في المئة من العدد الإجمالي لسكان الولايات المتحدة، ويسلبهم في أحيان كثيرة قدرتهم على العمل، ويدفعهم إلى الإدمان والانتحار. وهو عموما، واحد من الأمراض الأكثر شيوعا في بلدان العالم المتقدم، وهو السبب الرئيسي في فقدان القدرة على العمل لأسباب طبية لدى الأشخاص الذين تتراوح أعمارهم بين 15 و 44 سنة. ولا تقتصر أعراض الاكتئاب على الإحساس العميق بالقنوط والعجز واليأس، بل تشمل أيضا جملة من الأعراض الجسدية كنقص الشهية واضطرابات النوم والإمساك والوهن الجسدي، إضافة إلى الهَيَجان في بعض الحالات. وكما هو معروف، فإن الاكتئاب يسبب اضطرابا في وظيفة الجهاز المناعي، وخللا في عدد من المنظومات الهرمونية، وازديادا في احتمال خطر الإصابة بأمراض القلب والأوعية. إلاّ أن تأثير الاكتئاب الواسع في وظائف الجسم لا يغير من حقيقة أنه يمثل في جوهره اضطرابا من اضطرابات الدماغ، فهناك كثير من الدلائل التي تشير بوضوح إلى الدور المحوري الذي تؤديه **المنطقة 25** area 25 في نشوء

(*) A CONSTANT PROD
(١) Huntington's disease

مُؤبِّدة الرعب[*]



إن أهم ما يُميز الاضطراب PTSD هو ردود فعل الخوف التي تُحرضها لمحات عابرة تستحضر تجربة الرض النفسي بصورها النابضة بالحياة، فيعانيها المصاب حتى بعد مرور مدة طويلة على وقوع الحدث. ويُعتقد أن اضطرابا وظيفيا في إحدى البنى الدماغية المعروفة باسم «القشرة ما قبل الجبهية البطنية الوُسطى» (vmPFC)[1] يُؤهب للإصابة بالمرض المذكور، لأن مهمة هذا الجزء من القشرة الدماغية هي ضبط وتعديل وظيفة اللوزة الناظمة للإحساس بالخوف والقلق. وما يحصل عند التعافي من تجربة الرض النفسي؛ وهذا ما يُعرف بالإخماد extinction، هو عادة الاستعاضة عن رد فعل الخوف برد فعل طبيعي من خلال عملية تَعَلّم يُشارك فيها كل من الهيپوكامپوس والقشرة ماقبل الجبهية الظهرية الوحشية the dorsolateral prefrontal cortex. وتبعا للاعتقاد السائد اليوم، فإن القشرvmPFC تعمل كوسيط أساسي بين القشرة ماقبل الجبهية العلوية الوحشية واللوزة، وتجعلنا قادرين على تعلم عملية الإخماد وتهدئة اللوزة.



الاكتئاب، وهي منطقة صغيرة جدا تقع في **القشرة ماقبل الجبهية** (PFC)[1]، وتشتغل كمركز اتصال رئيسي للدارة العصبية ذات العلاقة بالاكتئاب.

تعود تسمية «المنطقة 25» إلى طبيب الأمراض العصبية الألماني <K. برودمان> الذي قام سنة 1909 بتصنيف مناطق القشرة الدماغية حسب الأرقام العشرية في مؤلّفه الكلاسيكي «أطلس الدماغ البشري». وتجدر الإشارة إلى أن هذه المنطقة - التي يصعُب الوصول إليها لوقوعها في مكان عميق مجاور للخط المتوسط في مقدمة الدماغ - لم تحظ خلال السنوات المئة الماضية إلاّ بقليل من الاهتمام. أما بعد اكتشاف أهمية الدور الذي تؤديه في مرض الاكتئاب في العقد الأخير، فقد بدأ علماء الجهاز العصبي السريريون يتنافسون بحماس شديد على حق مُلكيتها الدائمة. فعلى سبيل المثال، قامت <H. ميبيرگ> وزملاؤها [من جامعة إيموري]، باكتشاف فرط في نشاط المنطقة 25 عند مرضى الاكتئاب، وبإثبات أن هذا النشاط المرضي يختفي على نحو متزامن مع تحسن أعراض المرض تحت تأثير المعالجة؛ دوائية كانت أو سيكولوجية. وهناك بالطبع دلائل أخرى على أهمية الدور الذي تؤديه المنطقة 25 في مرض الاكتئاب.

(*) PERPETUATOR OF FEAR
(1) prefrontal cortex

وكما يمكن أن يتوقع المرء، فإن المنطقة 25 غنية بنواقل مادة السيروتونين، وهي جزيئات تقوم بضبط كمية الناقل العصبي «**السيروتونين**» the serotonin التي تحتاج إليها النورونات. وتجدر الإشارة هنا إلى أن الاعتقاد السائد حاليا هو أن الفعالية الدوائية لمعظم مضادات الاكتئاب تأتي من التأثير في هذه النواقل بطريقة تُعزّز عملية نقل الإشعارات العصبية المرتبطة بالسيروتونين.

ومن بين الدراسات الأخرى عن الاكتئاب دراسة أجراها «L. بيزاواس» و«A. ماير-لندنبرگ» وزملاؤهما [من المعهد الوطني للصحة العقلية] على أكثر من 100 شخص خالٍ من الاكتئاب، حيث استخدم الباحثون طريقةً مسح الدماغ التصويري وأجروا مقارنة بين عينتين من أفراد تلك المجموعة؛ عينة أصحاب الجين الناقل للسيروتونين القصير وعينة أصحاب الجين الطويل. وما وجدوه كان فرقا وحيدا بين أدمغة أولئك الأفراد، ولكنه فرق ثابت؛ فالمنطقة 25 لدى أصحاب الجين القصير - وهو الجين الذي لا يُحرّض صناعة البروتينات الناقلة بكمية كافية، ويُعتقد أن صاحبه مُعرّض للإصابة بالاكتئاب أكثر من غيره - كانت صغيرة الحجم لقلة مخزونها من النسيج الدماغي، واتصالاتها الوظيفية بباقي **مناطق الدماغ تحت القشرية** subcortical brain regions؛ كاللوزة مثلا، كانت منقطعة.

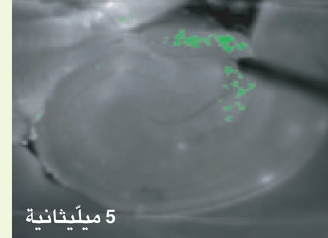
بناءً على نتائج الدراسة المذكورة ودراسات أخرى مشابهة، فقد أصبح علماء الجهاز العصبي ينظرون إلى الاكتئاب كأحد اضطرابات الدارات العصبية والذي ينشأ على أرضية خلل وظيفي في المنطقة 25 وما يترتب عليه من أعطال في شبكة اتصالاتها الواسعة، بما فيها **الوِطاء** hypothalamus وجذع الدماغ واللوزة ومنطقة الجزيرة والهيپوكامپوس وأجزاء من القشرة الجبهية. وهذا ما يُفسّر لنا كيفية ظهور معظم أعراض الاكتئاب؛ فالوطاء وجذع الدماغ يتحكمان في تغيّر أحوال الشهية والنوم والطاقة الجسدية؛ واللوزة ومنطقة الجزيرة مسؤولتان عن ضبط المزاج والإحساس بالخوف؛ والهيپوكامپوس يُسيّر شؤون الذاكرة والانتباه، أما أجزاء القشرة الجبهية المذكورة سابقا فتدير العمليات المتعلقة **بالبصيرة** insight و**الاعتزاز بالنفس** self-esteem.

والدماغ هو في نهاية المطاف عضو متخصص بمعالجة المعلومات لا يكل عن القيام بتجميع المدركات الحسية والحواسية الواردة إليه وربط بعضها ببعض، ثم تنسيق الاستجابات لها. ومن أجل توسيع دائرة التشبيه الخاصة بمنظومة الدارات العصبية، يمكن القول حسب الاعتقاد السائد حاليا، إنّ المنطقة 25 تعمل كناظم لشبكة عصبية واسعة مسؤولة عن استشعار وتعديل درجات النشاط في مراكز الدماغ المسؤولة عن إدارة الإحساس بالخوف وتسيير شؤون الذاكرة ومعالجة عملية الاعتزاز بالنفس. ولذلك، فإن الخلل الوظيفي في المنطقة 25 يمكن أن يؤدي إلى فشلها في تنسيق مستويات النشاط بين تلك المراكز، الأمر الذي يسبب انحرافا في معالجة المعلومات يقود بدوره إلى تشوهات في تقييم العالم الداخلي والخارجي. فإذا كانت هذه الفرضية صحيحة، فإن إعادة المنطقة 25 إلى حالتها الطبيعية في بث النبضات الكهربائية ستكون كافية لتعديل النشاط المتدني في المراكز المذكورة، ومن ثَمّ تراجع أعراض الاكتئاب. وبالفعل، فقد أثبتت «ميبيرگ» أن تحريض الجزء المحاذي للمنطقة 25 كهربائيا يُقلل من نشاطها، ويُفضي إلى تعافي المصابين بالاكتئاب الذين لم يستجيبوا للمعالجة القياسية.

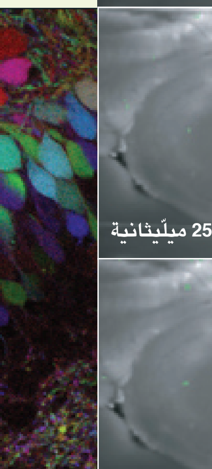
إذا كانت المنطقة 25 تدفع الدماغ إلى تجميد نشاطه في حلقة من حلقات عمله التي أصابها الخلل، وذلك على نحو مشابه لما يحصل في الحاسوب، فإن الحل، أو بالأحرى هدف المعالجة، يُمكن أن يكون

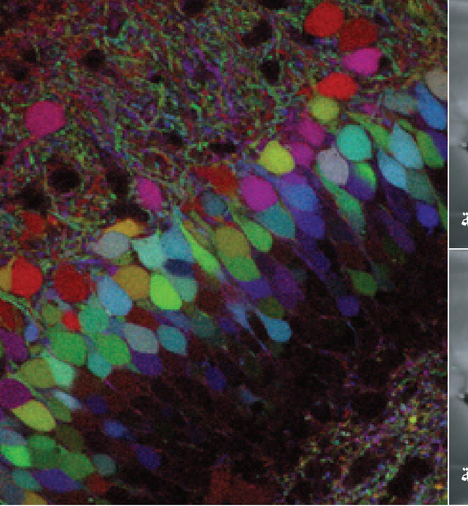
يُمكن أن يكون هدف المعالجة مشابها لعملية إعادة إقلاع الحاسوب بعد تجمده وتوقفه عن العمل.

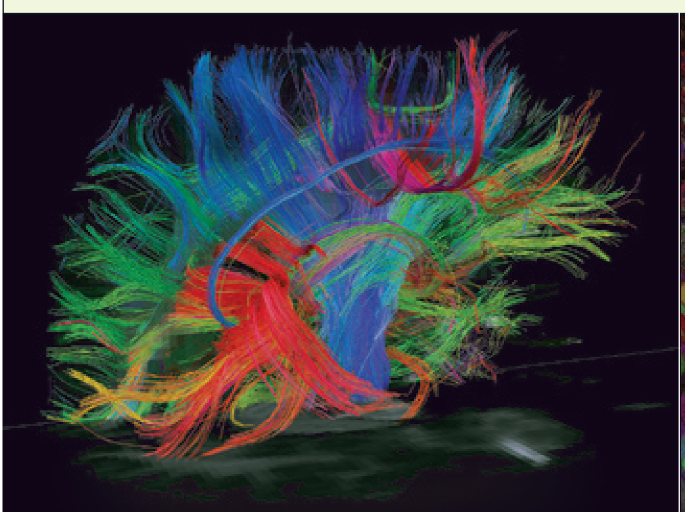
نوافذ مُحسّنة إلى الدماغ(*)



ستتمكن تقنيات التصوير العصبية الجديدة من توسيع مدارك الباحثين وشحذها فيما يتعلق بالاضطرابات الوظيفية المسؤولة عن خلل الدارات، وذلك عن طريق تزويدهم بصور تفصيلية لبنية الدماغ ووظيفته. وتبيّن صور هيپوكامپوس الجرذ أن التصبّغ الحساس القلطية Voltage-sensitive dye يُصدر إشعاعا أحمر اللون عندما يكون إطلاق الومضات النورونية الكهربائية أكثر كثافة (*اللوحة في الجهة اليمنى*). فأر معدل وراثيا تتألق نوروناته بألوان متعددة مشكلة صورة قوس قزح لبنى آخذة بالتطور في دماغ الفأر (*الصورة السفلية الوسطى*). يستخدم التصوير بالطيف المنتشر Diffusion spectrum imaging بيانات الرنان المغنطيسي MRI لإبراز الألياف العصبية الرابطة لمناطق مختلفة من الدماغ البشري، ويساعدنا على دراسة الدارات التي أصابها الخلل (*الصورة السفلية اليسرى*).







لم تُظهر الدراسات على وظائف الدارات العصبية أن بعض المداخلات العلاجية فعّالة وحسب، بل استطاعت أيضا اكتشاف آلية عمل هذه المداخلات من خلال تغييرها المحتمل للنشاط الدماغي.

عندئذٍ مشابها لعملية إعادة إقلاع الحاسوب بعد تجمده وتوقفه عن العمل. ويمكن تطبيق المبدأ ذاته على بعض الاضطرابات العقلية الأخرى، وخاصة اضطراب الوسواس القهري والذي يبدو حتى للمراقب العادي كما لو أن المصاب به مُحتبس في حلقة من الأفكار المضطربة والتصرفات المنحرفة.

تكرار لا هوادة فيه(**)

كان اضطراب الوسواس القهري في العهود السابقة يُعدّ نمطا من أنماط **العصاب الأولي** prototypic neurosis الذي ينشأ على أرضية صراع نفسي ويستجيب للمعالجة بالتحليل النفسي على نحو مثالي. يعاني مرضى الوسواس القهري أفكارا اقتحامية متكررة (وساوس) قد تترافق بنزعات مُلحّة ومُرهِقة تجبر المريض على القيام بأفعال طقسية نمطية متكررة (أعراض قهرية). فبعض المرضى مثلا يتملكهم إحساس بالتلوث يدفعهم إلى الاغتسال بطريقة متكررة لدرجة أن جلدهم يُصاب بالتآكل. وهناك آخرون لا يفارقهم الإحساس بأنهم تقاعسوا عن القيام ببعض مَهماتهم؛ كإطفاء موقد الطعام أو إغلاق صنبور المياه أو إقفال باب المنزل، فيعودوا إلى تفقدها مرارا وتكرارا قبل أن يغادروا المنزل. ومع أن الأشخاص المصابين بهذه الحالة يدركون عادة أن أفكارهم تلك لا معنى لها، فإنهم غير قادرين على التحكم في أعراض الاضطراب؛ سواء كانت وسواسية أو قهرية، لا بل حتى إن بعض الحالات الشديدة تودي بصاحبها إلى العجز التام.

وكثيرا ما يَصف المصابون بمرض الوسواس القهري أعراضهم بأنها «**عرّات عقلية**» mental tics، كما لو كانت حركات جسدية لا تخضع للتحكّم الإرادي. وبالفعل، فإن بعض مرضى الوسواس القهري يعاني إلى جانب الأفكار الوسواسية عرّات حقيقية. ويعتقد معظم علماء الجهاز العصبي أن

(*) BETTER WINDOWS INTO THE BRAIN
(**) Relentless Repetition

تجسير الهوّة(*)

يعود التباين في إمكانات المعالجة الطبية بين الأمراض العقلية، كالاكتئاب وغيره، وبين أمراض القلب على سبيل المثال، إلى الاختلاف في مستويات المعرفة المُتاحة عن الأسس البيولوجية للمرض. إن تعميق فهمنا لأسباب وطبيعة الاضطرابات التي تطرأ على وظائف الدارات العصبية من شأنه أن يساعدنا على وضع تشخيص مبكّر من خلال استخدام وسائل تصوير الدماغ وإجراء فحوص الدم المختبرية المِمكنة المتعلقة بالواسمات markers الجينية والبروتينية المُنبِئة بالمشكلة المَرَضيّة. ويمكن القيام بعدئذٍ بتصميم مداخلات علاجية تستهدف السبب الكامن وراء المرض بصورة مباشرة وسريعة.



معالجة الاكتئاب في الماضي والحاضر والمستقبل

	1960	2010	هدف عام 2020
منبئات احتمال الخطر	غير معروفة	ضعيفة (قصة عائلية وقصة رضوض نفسية)	قوية (جينات، بروتينات، وسائل تصويرية)
التشخيص	عبر استجواب المريض	عبر استجواب المريض	عبر التصوير والواسمات البيولوجية والاستجواب
المداخلات العلاجية	مَأسسة الرعاية الطبية[1]، معالجة بالشحنات الكهربائية، وغيبوبة الإنسولين insulin coma	مضادات الاكتئاب، معالجة معرفية	■ إجراءات وقائية: معالجة معرفية أو لقاح ■ مداخلات علاجية مصممة حسب احتياجات الأشخاص: أدوية مُحسّنة، معالجة معرفية، تحريض دماغي
النتائج	احتمال خطر النكس عالٍ، معدل وفيات عالٍ	استجابة 50 في المئة من المرضى بعد 12 أسبوعا، احتمال خطر النكس عالٍ، معدل وفيات عالٍ	استجابة خلال 24 ساعة، احتمال خطر النكس متدنٍ، معدل وفيات متدنٍ

المنظومة المُسيّرة للوظيفة الحركية تتضمن سلسلة من الدارات التي ترتبط القشرة الدماغية عبرها بمناطق أخرى من الدماغ، **كالعقد القاعدية** the basal ganglia، وهي مراكز مسؤولة عن انبعاث وتنسيق جوانب متعددة من الوظيفة الحركية. إلى ذلك، فإن الحركات اللاإرادية والتي نشاهدها في العرّات الحركية، على نحو أوضح بكثير عند مرضى هانتنگتون وتعبّر في الحقيقة عن نشاط مضطرب في هذه الدارة، وتنشأ عادة في العُقَد القاعدية. وقد كشفت لنا دراسات التصوير العصبي والتي أجريت على مرضى الوسواس القهري عن وجود نشاط غير عادي في دارة مجاورة تضم **القشرة الجبهية الحجاجية** the orbitofrontal cortex والتي تشارك في صنع مهام مركبة كاتخاذ القرارات مثلا، و**النواة المُذَنَّبة** caudate nucleus التابعة للعقد القاعدية، و**المهاد** the thalamus الذي تقع على عاتقه مهمة إدارة نقل المعلومات الحسية - الحواسية وربط بعضها ببعض.

والدلائل على وجود فرط في نشاط هذه الدارة عند مرضى الوسواس القهري لا تستمد مصادرها من دراسات التصوير العصبي فحسب، بل أيضا من إفادات المرضى التي تشير إلى تراجع جليّ في الأعراض بتأثير المعالجة، دوائية كانت أو سلوكية. وتجدر الإشارة هنا إلى أن التحسن المذكور في الأعراض كان دائما يترافق مع انخفاض في درجة نشاط القشرة الجبهية الحجاجية. إضافة إلى ما سبق، فإن الأعراض المُعنِّدة لدى المرضى الذين لم يستجيبوا للمعالجة الدوائية أو المعالجة السلوكية تتراجع - هي أيضا - بعد تجميد الاتصال فعليا بين القشرة الجبهية الحجاجية والنواة المُذَنَّبة، سواء عن طريق قطع الألياف العصبية الرابطة للمنطقتين المذكورتين جراحيا أو تثبيطها كهربائيا. والفعالية الواضحة لمثل هذه التداخلات التي

(*) BRIDGING THE GAP
(1) Institutionalization

تُحدث تبدلات مادية في شبكة الاتصالات داخل إحدى دارات الدماغ، تقدم لنا دليلا ساطعا على صحة المبدأ القائل إن أعراض الاضطرابات العقلية يمكن أن تنشأ على أرضية خلل وظيفي في دارة عصبية معينة.

أما السؤال عن السبب الحقيقي لأصل الاضطراب الوظيفي الذي يحصل في الدارة العصبية المتعلقة بمرض الوسواس القهري، فهو سؤال منفصل، ويمكن أن تكون الإجابات عنه مركبة ومعقدة. ففي بعض الحالات يمكن أن يتعلّق الأمر باستعداد مُسبق. وتماما كما هي الحال في الاستعداد العائلي لارتفاع الكولسترول أو ارتفاع سكر الدم، فإن الاختلافات الجينية بين الأفراد يمكن أن تؤثر في الكيفية التي يتطور بها الدماغ، والطريقة التي يعمل بها. وكما هو معروف من الاضطرابات الصحية المعقدة الأخرى، فإن الاستعداد الجيني وحده لا يُولّد المرض – فالبيئة والخبرات تتفاعل عادة مع الاختلافات الجينية وقد يسبب ذلك المرض عند بعض الناس ولا يسببه عند بعضهم. وهذا الإقرار بأن بيولوجيا دماغ الفرد قد تتفاعل مع الخبرات فتتسبب بخلل دارات عصبية أو بتحريض مثل هذا الخلل، هو مهم بوجه خاص من أجل فهم عواقب **الرضّ النفسي** trauma.

خوف لا يُتعلم(*)

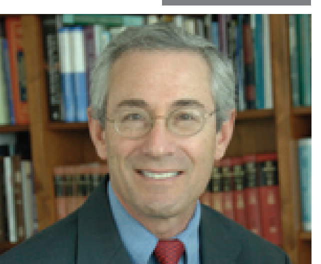
يعد الاضطراب PTSD من أكثر الأمراض شيوعا بين الجنود العائدين من الحرب. سابقا كان الاضطراب PTSD يسمى «عصاب الكفاح» أو «وهن المعارك»، أما اليوم فيُصنف بين اضطرابات القلق، وهو اضطراب يتميز بأعراض متعددة أهمها: أفكار تسلطية منهكة؛ كاستدعاء مشاهد تنبض بالحياة من أحداث الماضي المسببة للمرض، وكوابيس مع اضطرابات نوم مصحوبة بدرجة عالية من اليقظة. ولا يقتصر الاضطراب PTSD على المحاربين القدماء وحدهم، بل يشمل أيضا ضحايا الاغتصاب والإرهاب وحوادث المرور.

لا يبدو للوهلة الأولى أن للاضطراب PTSD علاقة بخلل منظومة الدارات الدماغية، لاسيما أن اسمه لا يدل على ذلك، بل يُوحي أن المرض خارجي المنشأ (رض نفسي). ولا يعني ظهور أعراض كاضطرابات النوم وارتفاع درجة اليقظة بُعَيْدَ تجربة الرض النفسي ثم تلاشيها مع مرور الوقت – كما هي الحال عادة عند معظم الأشخاص – أن الأمر يتعلق بالاضطراب PTSD. فالاضطراب PTSD لا يظهر بعد وقوع الرض النفسي مباشرة، بل بعد مرور أسابيع أو أشهر عدة. وهو لا يُصيب جميع ضحايا الرضوض النفسية، بل نحو 20 في المئة منهم، حيث يعاني هؤلاء الكرب الحاد الذي يتجلى بنوبات متكررة من ردود أفعال الهلع الشديد المصحوب بذكريات أو لمحات عابرة مرتبطة بحادثة الرض الأصلية.

تُسمى عملية التقليل من حِدّة الخوف بلغة المعالجة السيكولوجية **الإخماد** extinction، وهو تأهيل المريض نفسيا من خلال تعريضه المتكرر، وغير المُهدد لسلامته، لذكريات أو إشارات تتعلق بالحدث الراض، إلى أن يصبح قادرا على الفصل بين العلامات المحرضة لذكريات الماضي الخاص بالحدث وبين خوفه الارتكاسي – الأوتوماتيكي الذي تحرضه هذه الذكريات، والاستعاضة عن ارتكاس الخوف بارتكاس طبيعي. ويمكن القول في هذا السياق، إن الاضطراب PTSD يُعبّر عن عدم نجاح عملية الإخماد، وإن تراجع المرض، علاجيا أو تلقائيا، يتطلب أسلوبا جديدا من التعلم. وتشير الدراسات الأخيرة التي أُجريت على الإنسان والحيوان بدلائل واضحة إلى أن اضطرابا في وظيفة إحدى الدارات العصبية يمكن أن يكون السبب في إعاقة عملية الإخماد وترك الشخص معرضا للإصابة بالاضطراب PTSD.

(*) Unlearning Fear

المؤلف



Thomas R. Insel

طبيب نفسي وباحث في العلوم العصبية الحديثة، وهو مدير المعهد الوطني للصحة العقلية؛ الهيئة الفيدرالية الداعمة للدراسات والأبحاث الخاصة بالأمراض العقلية. كشفت أبحاث «إنسل» الأولى عن دور مادة السيروتونين في اضطراب الوسواس القهري. أما أبحاثه على الحيوان التي ركزت على الأساس البيولوجي لظاهرة الرباط الاجتماعي، فقد كشفت عن أهمية مستقبلات ***الأوكسيتوسين*** *oxytocin، وغيره من المواد الأخرى في الدماغ، في نشوء الروابط الاجتماعية. وكعادته في جميع أعماله، يحاول «إنسل» في استعراضه لنتائج ما استجدّ من أبحاث حول منظومة الدارات الدماغية المتعلقة بأمراض المزاج، مدّ جسور بين البيولوجيا وعلم النفس بالتركيز على العلاقات المتبادلة بين النشاط النوروني (العصبوني) والسلوك.*

تتكون محطات الدماغ الرئيسية المتخصصة بنقل الإشعارات العصبية المرتبطة بالخوف من اللوزة ومجرة الخلايا المجاورة لها المعروفة باسم «**النواة العميقة للسطر النهائي**» the bed nucleus of the stria terminalis، والتي يفترض أنها مسؤولة عن التعاطي مع شتى أعراض الخوف: زيادة عدد دقات القلب والتعرق الشديد والجمود الحركي وردود أفعال إجفالية شديدة. وتجدر الإشارة هنا إلى أن مجموعة من نورونات اللوزة ترسل قسما من محاويرها الطويلة والرفيعة إلى جذع الدماغ لترتبط هناك بالمراكز المسؤولة عن **نَظْم الوظائف المستقلة**[1]، وتُرسل قسما آخر إلى الدماغ الأمامي المؤثر في انبعاث الحوافز وصنع القرارات وإدراك الخصائص المميزة للمحرضات. وإذا كانت اللوزة هي محرك الخوف، فلا بد إذن من وجود مرجعيات في الدماغ يردّ إليها إيقاف نشاط هذا المحرك حالما تزول الحالات الداعية إلى الخوف وينعدم مبرر وجوده.

قام <G. كيرك> وزملاؤه [من جامعة پورتوريكو] بإجراء دراسة على الجرذان أثبتوا فيها أن المنطقة **ما تحت اللمبية** infralimbic region؛ وهي منطقة صغيرة تقع في القشرة PFC، هي المسؤول الرئيسي عن ظاهرة إخماد الخوف، بدليل أن الجرذان التي تعلمت أن تخاف من منبه خاص، تصبح قادرة على التخلص من خوفها بعد أن يتم تدريبها على استخدام آلية الإخماد. كما تمكن فريق <كيرك> أيضا من الكشف عن ازدياد في نشاط المنطقة ما تحت اللمبية أثناء استخدام آلية الإخماد، وعن أن هذه الزيادة في النشاط هي المسؤولة عن لجم اللوزة. وتشير بعض الدراسات التجريبية الأخرى إلى أن التنبيه الميكروي لخلايا المنطقة ما تحت اللمبية يولّد كما يبدو سلوكا إخماديا، حتى لدى الحيوانات التي لم يسبق لها أن تلقت تدريبا على استخدام آلية الإخماد كوسيلة مضادة للخوف. إضافة إلى ذلك، فإن تخدير نورونات هذه المنطقة الصغيرة من القشرة PFC يُفضي إلى إعاقة السلوك الإخمادي لدى الحيوانات التي تلقت تدريبا بهذا الشأن، الأمر الذي يدل بوضوح على حيوية هذه المنطقة الدماغية وفعاليتها في عملية التغلب على الخوف.

تشير الدراسات التصويرية العصبية عند المصابين بالاضطراب PTSD، إلى وجود فرط في نشاط **القشرة ماقبل الجبهية البطنية الوسطى** (vmPFC)[1]، وهي ما يقابل المنطقة ماتحت اللمبية عند الجرذان. وقد خلُصت خمس دراسات أجريت على مرضى الاضطراب PTSD إلى أن نشاط المنطقة vmPFC من القشرة الدماغية يتراجع لديهم إذا تم تعريضهم للمحات مرتبطة بحدث الرض النفسي. كما أن هذه المنطقة من القشرة الدماغية لدى هؤلاء المرضى كانت أصغر حجما منها لدى الأشخاص الذين عانوا تجارب رض نفسي مشابهة، ولكنهم لم يُصابوا بالاضطراب PTSD. وهذا بالفعل ما أفاد به مؤخرا <M. ميلاد> وزملاؤه [من المستشفى العمومي في ماساتشوستس] في دراسته التي أجراها على متطوعين أصحاء، حيث وجد أن سماكة القشرة vmPFC تتناسب طردا مع القدرة على إخماد ذاكرة الخوف. إلى ذلك، فقد أثبتت <E. فيلپس> وزملاؤها [من جامعة نيويورك] أن عملية تعلم استخدام آلية الإخماد عند الإنسان تشبه نظيرتها عند الجرذان، وتترافق بزيادة في نشاط القشرة vmPFC ونقص في نشاط اللوزة.

لقد بدأت طرائق التصوير العصبية بالكشف عن الأساس البيولوجي لفوائد المعالجة المعرفية – السلوكية، وهي طريقة من طرائق المعالجة السيكولوجية (الكلامية)

(1) مثلُ عدد دقات القلب والنبض وضغط الدم والتعرق وغيرها من الوظائف التي ينظمها قسم من الجهاز العصبي يُسمّى «**الجهاز العصبي المستقل**» autonomic nervous system وله مراكز كثيرة في جذع الدماغ. (التحرير)

والتي تركز على استجابات أو ردود أفعال المريض علـــى الظروف الصعبة، وتســـعى إلى تعديل هذه الاســـتجابات. وتشير هذه الطرائــق البحثية إلى أهمية الهيپوكامپوس في تقييم سياق المُدركات، وإلى دور القشرة ماقبل الجبهية الظهرية الوحشـــية في تعلم كيفية تحمل الخوف أو التغلب عليه. ولما لم تكن هناك صلة وصل مباشرة تربط القشرة ماقبل الجبهية الظهرية الوحشـــية باللوزة، فإن الاعتقاد الســـائد حاليا هو أن القشرة vmPFC تقـــوم بوصـــل إحداهما بالأخرى، الأمر الذي يُفسّر كيف أن المعالجة المعرفية قادرة على مســـاعدة المريـــض على اتباع أســـلوب جديد في التعاطي مع الأشـــياء، وجعله يتعافى من مرضه.

تحولات جوهرية(*)

يُشـــير ما عرضتُه من أمثلة، استقيتها من دراسات متعددة أُجريت على أشخاص مصابـــين بالاكتئاب أو الوســـواس القهري أو الاضطـــراب PTSD، إلـــى وجود علاقة صريحة بين نشـــاط مناطـــق دماغية معينة مترابطـــة فيما بينهـــا، وبـــين اضطرابات السلوك والمشـــاعر المُميِزة لتلك الأمراض. وقـــد تبيّن لنا أن القشـــرة ماقبـــل الجبهية تؤدي دورا مهما فـــي جميع الحالات التي ذكرناها، وهو أمر لا يُثير الاستغراب بتاتا. ولمّا كانت هذه المنطقة عند الثدييات الأخرى قليلة التطور، فإن دراســـتها عند حيوانات المختبر صعبة ومعقـــدة. غير أن هذا الأمر يؤكّد أن للقشرة PFC أهمية مركزية لما يُميز الجنس البشـــري من باقي الكائنات الحية، وأفضل ما يتبناه علمـــاء اليوم من وجهات النظـــر، هـــو أن هـــذا الجزء من القشـــرة الدماغية يُعد بمنزلة حاكم عام للدماغ، كما أنـــه المكان الذي تتم فيـــه معالجة معظم ما نصبو إليه من أهـــداف وما ينبعث فينا من حوافز من أجل أن نكون قادرين على اتخاذ القرارات والتخطيط للمستقبل.

وفي هذا الســـياق تجدر الإشـــارة إلى أن الـــدور الذي تؤديه القشـــرة PFC، من حيـــث أجزائها وارتباطاتها المشـــاركة في الأمراض التي أشـــرنا إليها سابقا، يُمكن أن يختلـــف من مرض إلـــى آخر. وإضافة إلـــى الأمثلة التي استشـــهدنا بها، فقد تم الكشف أيضا عن وجود نشاط مَرَضيّ في القشـــرة ماقبل الجبهية الظهرية الوحشية عنـــد مرضى الفصـــام، وتأخُّـــر في نمو القشـــرة PFC بكاملها عند مرضى **نقص الانتباه المترافق بفرط النشـــاط الحركي** attention-deficit hyperactivity disorder ما بين عمر 7 و 12 سنة.

ومع أن وجود هـــذا الترابط صار أمرا مؤكـــدا، فمـــا زلنـــا بحاجة إلـــى مزيد من الأبحاث التي من شـــأنها أن تزودنا بأسس أكثر متانة ودقة تمكننا من تعرف أي جانب من جوانب النشـــاط الدماغـــي يؤدي دورا حاســـما في نشـــوء هذه الأمراض وغيرها من الأمراض النفســـية. كمـــا أننا بحاجة إلى مزيد من المعلومـــات عن الجينات التي قد تعمل على زيـــادة احتمال الإصابة بهذا المرض أو ذاك، فهذا سيساعدنا أيضا على الكشف عن الآليات الفيزيولوجية المشاركة في نشوء المرض.

إن تعرف هوية اضطرابات دارات الدماغ الوظيفية التي تنشأ عنها الأمراض العقلية قد يكون له تداعيات بالغة الأهمية على مستوى التشخيص والمعالجة. فالأمراض العقلية ما زالـــت تُصنّف تبعا لأعراضهـــا التي يمكن أن تتشـــابه فيؤدي ذلك إلى تداخلات بينها أحيانا، وهي أيضا ما زالت مُغَيّبة تماما عن صلتها بالدلائـــل البيولوجية المعروفة، وذلك على الرغم من أن إعادة تصنيفها حســـب وظائـــف الدمـــاغ المختلفة قد تفتـــح آفاقا واســـعة أمام تطوير نظام جديد للتشخيص مبنـــي على مبـــدأ **الواسمات البيولوجية** biomarkers؛ مثل نماذج النشـــاط الدماغي

(*) Fundamental Shifts

أو التغيّرات الكيميائية أو التبدّلات البنيوية المرتبطة بالحالة المَرَضيّة. وكما تُستخدم الفحوص المُتمّمة في باقي الاختصاصات الطبية - كمعايرة الكولسترول أو تحديد **مستويات المستضد الخاص بالپروستاته** prostate-specific antigen levels في الدم، أو إجراء القياسات الفيزيولوجية، كقياس النشاط الكهربائي، أو استخدام المسح التصويري - فإن فحص الواسمات البيولوجية المختلفة المتعلقة بالاضطرابات العقلية يمكن أن يساعد على تشخيص هذه الأمراض بطريقة أكثر دقة، وربما في وقت مبكّر.

ما زالت **النوبة الذهانية** episode of psychosis في مرض الفصام تُعدّ أحد معاييره التشخيصية المفتاحية، تماما كما كان يتم تعريف مرض القلب في السابق من خلال نوبة الخنّاق الصدري والتي يعانيها المُصاب. ولكن الأعراض السلوكية والمعرفية المعروفة في اضطرابات الدماغ قد لا تظهر إلاّ بعد انقضاء زمن طويل على بدء الخلل الوظيفي في الدارة العصبية، لا بل حتى إنها لا تظهر إلاّ بعد أن تكون آليات المعاوَضة قد استنفدت قدراتها. وما نعرفه اليوم جيدا، هو أن أعراض مرض پاركنسون لا تظهر إلاّ بعد خراب 80 في المئة من الخلايا المُنتجة للدوپامين في المادة السوداء، وأن الأعراض الحركية في مرض هانتنگتون لا تأخذ في الظهور إلاّ بعد زوال 50 في المئة من نورونات العُقَد القاعدية.

تُحدد طبيعة المرض اختيار طريقة العلاج المناسبة. فالدراسات التي أُجريت على الدارات العصبية لمعرفة آلية عملها لم تنجح في إثبات فعاليّة بعض المداخلات العلاجية كالمعالجة المعرفية السلوكية وحسب، بل استطاعت أيضا أن تتعرف الآلية التي يُمكن أن تُؤثّر بها هذه المداخلات في النشاط الدماغي وتُحدث تغييرات فيه، الأمر الذي يمدنا بأساليب جديدة من التأمل الفكري قد تساعدنا على تحسين ما هو مُتاح حاليا من تقنيات علاجيّة. ولا شك في أن مضادات الاكتئاب والأدوية المضادة للذهان الحالية أيضا تمتلك فعّالية علاجية، ولكنها ليست أفضل بكثير من فعالية الأدوية المعروفة منذ 40 سنة. إنّ مزيدا من فهم الاضطرابات الوظيفية والتي تصيب الدماغ وتسبب ظهور مرض الاكتئاب سوف يجعلنا قادرين على تطوير طرق علاجية أكثر فعّاليّة وربما شافية لهذا المرض.

ولعلّ أهم ما يُمكن أن يترتب مباشرة على مقاربة الأمراض العقلية من حيث إنها تشكل اضطرابات في منظومة دارات الدماغ، هو التغير الذي سوف يطرأ على نظرة المجتمع لتلك الأمراض. فعلى مرّ الأجيال، كان المريض العقلي يُوصم دائما بأنه إمّا مسكون بالأرواح الشريرة أو خطير أو ضعيف الإرادة أو أنه ضحية فساد والديه، على الرغم من افتقار هذه الوصمات بالطبع إلى أي دليل علمي. إن استخدام المنهج العلمي في التعاطي مع الاضطرابات العقلية سوف يقدم دعما كبيرا للمصابين بها في نضالهم للحصول على استحقاقاتهم من الاعتراف الاجتماعي الكامل والرعاية الجيدة.

من منظور علمي، يصعُب علينا أن نعثر على سابقة في الطب لما يحصل من تطور في مجال **الطب النفسي** psychiatry منذ أمد قصير. لقد أخذ الأساس الفكري لهذا الحقل الطبي في التحول جذريا من مجاله الحالي - القائم على مبدأ النظرة الذاتية للظاهرة «العقلية» - إلى مجال آخر هو العلوم العصبية. وبالفعل، فما يحدث اليوم من تطور علمي في نظرتنا وفهمنا للأمراض العقلية سوف يقود في أغلب الظن إلى ثورة حقيقية في الوقاية والعلاج، وسوف يعود بفوائد حقيقية كثيرة وطويلة الأمد على ملايين الأشخاص من جميع أنحاء العالم. ■

مراجع للاستزادة

Targeting Abnormal Neural Circuits in Mood and Anxiety Disorders: From the Laboratory to the Clinic. Kerry J. Ressler and Helen S. Mayberg in *Nature Neuroscience,* Vol. 10, No. 9, pages 1116–1124; September 2007.

Neural Circuitry Underlying the Regulation of Conditioned Fear and Its Relation to Extinction. Mauricio R. Delgado et al. in *Neuron,* Vol. 59, No. 5, pages 829–838; September 11, 2008.

Disruptive Insights in Psychiatry: Transforming a Clinical Discipline. Thomas R. Insel in *Journal of Clinical Investigation,* Vol. 119, No. 4, pages 700–705; April 1, 2009.

Scientific American, April 2010

استعصار المزيد من النفط من باطن الأرض(*)

في خضم التحذيرات من احتمال بلوغ «ذروة نفطية»(١)، تضع التقانات المتقدمة بين أيدينا طرقا لاستخراج آخر القطرات المحتمل وجودها.

<L. موگيري>

على امتداد أرض قاحلة منبسطة مساحتها أربعة عشر ميلا مربعا في وادي كاليفورنيا المركزي تتهادى ثمانية آلاف **مضخة رأس حصان**(٢) كما – يسميها رجال النفط المحافظون – صعودا ونزولا ممتصة النفط من باطن الأرض. وتدل أنابيب النفط اللامعة التي تعبر المنطقة بكاملها على أن هذا المكان ليس مجرد أثر من زمن غابر. بيد أن حقل كيرن ريڤر النفطي لا يكشف – ولا حتى إلى عين الخبير الثاقبة – أية دلالة عن المعجزات التقانية والتي منحته القدرة على البقاء على مدى عقود من النبوءات المتشائمة.

لقد توقع المحللون عند اكتشاف حقل كيرن ريڤر النفطي عام 1899 أن نحو 10 في المئة فقط من هذا النفط الخام اللزج بدرجة غير عادية قابل للاستخراج. وفي عام 1942، أي بعد ما ينوف على أربعة عقود من الاستخراج المعتدل، قُدِّرت كمية ما تبقى من النفط القابل للاستخراج في الحقل بنحو 54 مليون برميل، وهذا مقدار نَزرٌ مقارنة بما سبق استخراجه والبالغ 278 مليون برميل. بيد أن الحقل أنتج في السنوات الأربع والأربعين التالية 736 مليون برميل بدلا من الأربع والخمسين مليون برميل التي جرى تقديرها، وما زال يحتوي على 970 مليون برميل أخرى كما بيّن علّامة الطاقة guru <M. أديلمان> عام 1995. ولكن هذه النبوءة أخطأت أيضا، إذ أعلنت الشركة الأمريكية العملاقة شيڤرون في الشهر 2007/11 – وكانت حينها تستثمر هذا الحقل – أن إنتاجه التراكمي قد بلغ بليوني برميل، ومازال يضخ إلى اليوم ثمانين ألف برميل من النفط يوميا، وتصل احتياطياته المتبقية – حسب تقديرات ولاية كاليفورنيا – إلى نحو 627 مليون برميل.

وقد بدأت شركة شيڤرون خلال ستينات القرن الماضي بزيادة الإنتاج بشكل ملحوظ عن طريق حقن البخار في باطن الأرض، وكانت هذه التقانة جديدة حينها. وفيما بعد، حوّلت سلالة جديدة من أدوات الاستكشاف والحفر – بما فيها حقن البخار – الحقل إلى ما يشبه **كورنكوپيا**(٣) النفط.

إن حقل كيرن ريڤر ليس حالة مفردة. فمما هو معروف عموما يفترض أن إنتاجية أي حقل ستسلك منحنى جرَسيّ الشكل يُعرَف باسم منحنى هابرت (الذي سمي باسم <M. كينگ هابرت> وهو جيولوجي من شركة شل للنفط)، وتصل إلى ذروتها عندما يتم استخراج نصف كمية النفط المعروفة. ومع ذلك، فإن معظم حقول النفط المعروفة في

مفاهيم مفتاحية

- قد تكون التوقعات بأن إنتاج النفط العالمي سيبدأ قريبا بالانخفاض وأن النفط سينفد خلال بضعة عقود مبالغة في التشاؤم.
- يتنبأ المؤلف بأن التقانات المتقدمة ستتمكن بحلول عام 2030 من استخلاص نصف النفط المعروف وجوده في باطن الأرض بينما تبلغ هذه النسبة حاليا 35 في المئة وسطيا.
- إن زيادة الإنتاجية والاكتشافات الجديدة ستؤديان معا إلى إطالة بقاء النفط قرنا آخر من الزمن.

مُحَرِّرو ساينتفيك أمريكان

(*) SQUEEZING MORE OIL FROM THE GROUND

(١) "Peak oil" هي النقطة في الزمن التي يتم عندها الوصول إلى المعدل الأعظمي للنفط المستخرج على نطاق عالمي، والتي بعدها يدخل هذا المعدل في تراجع لانهائي.

(٢) horsehead pumps

(٣) الكورنكوپيا: في الأساطير اليونانية هي قرن الماعز التي أرضعت زيوس، ثم سقطت عن رأس الماعز وأصبحت مليئة بالفاكهة. تستعمل هذه الكلمة مجازا للدلالة على مصادر كل ما هو وفير. (التحرير)



العالم قد تجاوزت عمرها. وبشكل أو بآخر، فإن التقانة هي الكورنكوپيا الحقيقية.

يتنبّــأ كثير من المحللين اليــوم بأن إنتاج النفط العالمي ســوف يصــل إلى ذروته خلال السنوات القليلة القادمة ثم ينحدر بعدها وفق منحنى هابرت. ولكنني أعتقد أنه سيثبت بطلان هذه التوقعــات تماما مثلمــا أخطأت تنبؤات «الذروة النفطية» في الماضــي [انظر: «*نهاية النفــط الرخيــص*»، **العلوم**، العدد 10(1998)، ص 44]. فقد كشــفت طرق التنقيب الجديدة المزيد من أســرار الأرض، كما أن التطورات التي شــهدتها تقانــة الاســتخراج قد أدت

إن تقدير كمية النفط التي يمكن أن ينتجها حقل ما هي أمر محيّر في الغالب. وبالنسبة إلى حقل كيرن ريڤر، فإن الإنتاج الكلي (*المبين باللون الأصفر*) مستمر وقد تجاوز مجددا جميع التقديرات المتعلقة بالنفط القابل للاستخراج (*المبين باللون الأحمر*).

1899

الاحتياطيات التقديرية القابلة للاستخراج

1942

الكميات المستخرجة حتى تاريخه

الاحتياطيات التقديرية المتبقية القابلة للاستخراج

2007

الكميات المستخرجة حتى تاريخه

الاحتياطيات التقديرية المتبقية القابلة للاستخراج

المربع الواحد = 10 ملايين برميل

إلى الحصول على النفط في مناطق لم يكن الوصول إليها ممكنا أو في أماكن كان الحفر فيها غير مجدٍ اقتصاديا. إن طرق التنقيب والاستخراج المتطورة تستطيع المحافظة على نمو إنتاج النفط عقودا قادمة، وتتيح استمرار إمداداته قرنا آخر.

ومع أن النفط والأنواع الأخرى من الوقود الأحفوري تشكل خطرا على المناخ والبيئة، فإن مصادر الطاقة البديلة لم تستطع حتى اليوم منافستها من حيث التنوع والتكلفة وسهولة النقل والتخزين. وبينما يجري البحث عن بدائل، علينا أن نكون متأكدين من أننا نستخدم ما نمتلكه من نفط بمسؤولية.

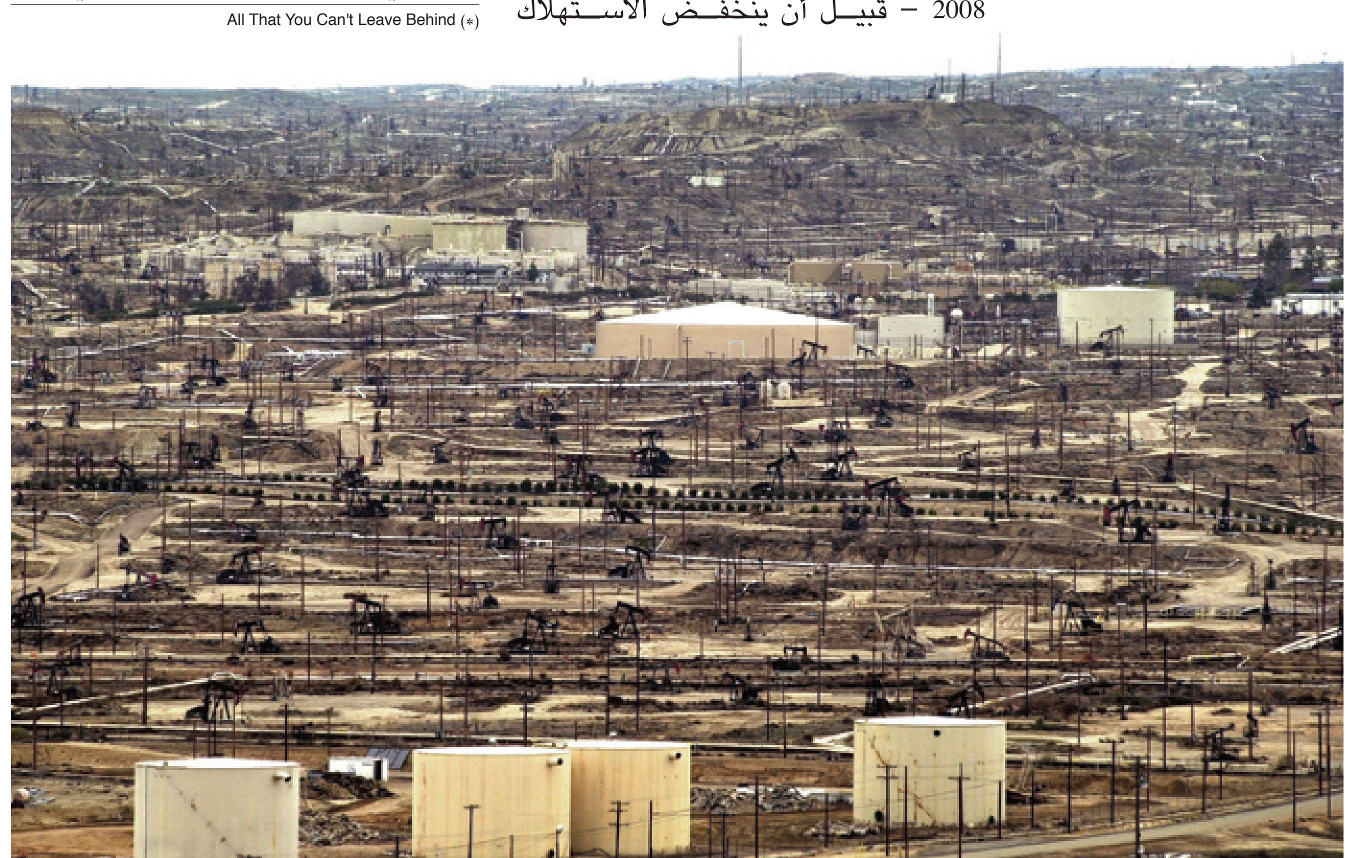
كلُّ ما لا تستطيع تركه خلفك(*)

في الوقت الذي تتزايد فيه مخاوف العالم من اقتراب إنتاج النفط من ذروته ومن ثم انحداره، قد يكون من المدهش معرفة أن معظم موارد الكرة الأرضية المعروفة مازالت غير مستثمرة في باطن الأرض وأن المزيد مازال بانتظار من يكتشفه.

وتدل النظرة الأولى على أن النفط لن يستمر إلا لبضعة عقود فقط. ففي عام 2008 - قبيل أن ينخفض الاستهلاك بفعل الأزمة الاقتصادية - استهلك العالم نحو ثلاثين بليون برميل من النفط سنويا. وبافتراض عودة الاستهلاك في المستقبل القريب إلى مستوى عام 2008 وبقائه ثابتا، فإن احتياطيات كوكبنا المؤكدة من النفط - التي تقدَّر في الوقت الراهن بـ 1.1 إلى 1.3 تريليون برميل - ستبقى نحو أربعين سنة.

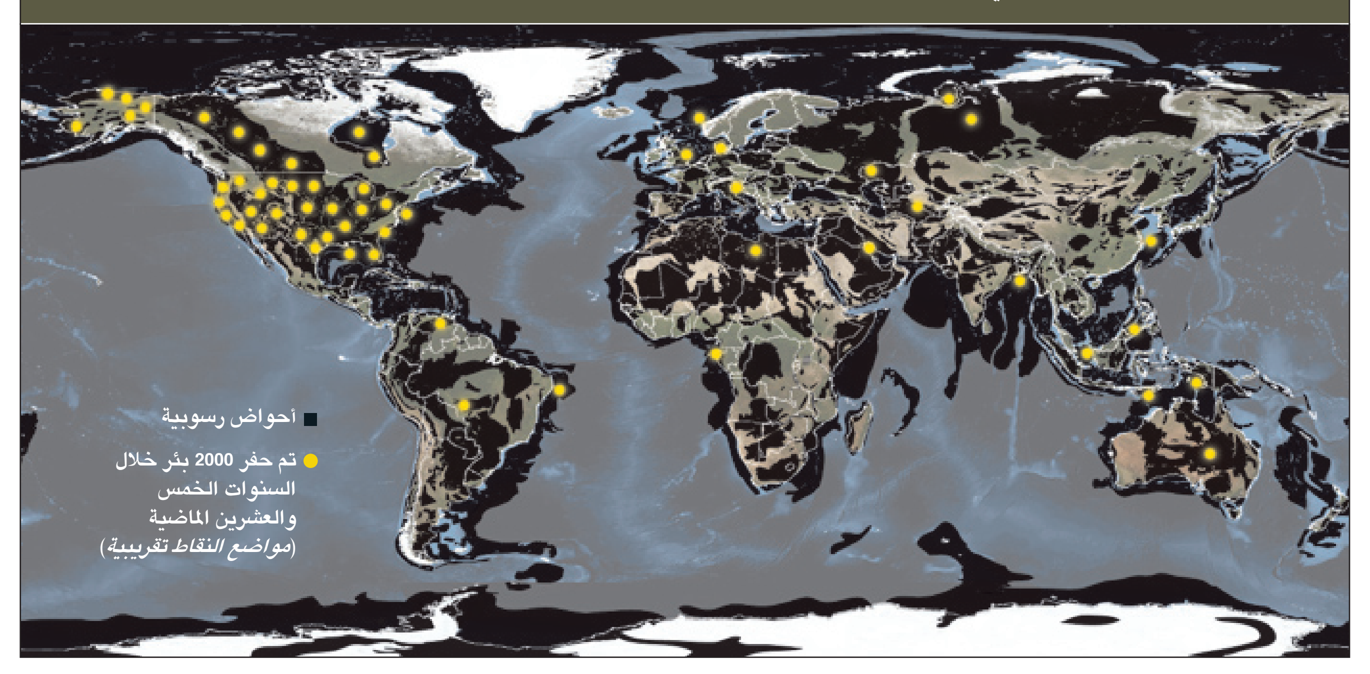
إلّا أن الاحتياطيات المؤكدة هي مجرَّد تقديرات وليست أرقاما ثابتة، وهي بالتعريف مقادير النفط المعروفة والتي يمكن استخراجها بشكل اقتصادي باستخدام التقانات الحالية. وعليه، فإن هذا التعريف يتغيَّر مع تطور التقانة ومع تغيّر أسعار النفط الخام. فإذا شحّت الإمدادات أو ازداد الطلب ارتفعت أسعار إعادة البيع ودخل النفط الذي كان يوما أكثر تكلفة من أن يستخرج في عداد الاحتياطيات المؤكدة. هذا هو السبب الذي يجعل معظم حقول النفط تنتج أكثر مما افترضته التقديرات الأولية لاحتياطياتها بل وأكثر من التقديرات الأولية لمحتواها الإجمالي. يستخرج حاليا نحو 35 في المئة فقط من نفط حقل عادي مما يعني أن ثلثي النفط في الحقول المعروفة يبقيان في باطن

(*) All That You Can't Leave Behind



الأراضي (والبحار) المجهولة(*)

يوجد النفط في الصخور الرسوبية في القارات والرفوف القارية. ومن المعروف أن جزءا جمّا من سطح الصفائح القارية يحتوي على أحواض رسوبية (باللون الأسود). بيْدَ أن البحث عن النفط لم يجر إلا في ثلث هذا السطح باستخدام التقانات المتقدمة والتي تستطيع أن تحدّد على سبيل المثال أماكن الأحواض الواقعة تحت ترسبات ملحية تبلغ ثخانتها آلاف الأمتار. لقد تم في الولايات المتحدة حفر عدد كبير من الآبار الاستكشافية أكثر من أي بلد آخر (تظهر كنقاط صفراء تمثل كل منها ألفي بئر).



الأرض. وهذه الموارد لا تذكر إلا نادرا في النقاشات الجارية بشأن مستقبل النفط.

إن بلدا متقدما في إنتاج النفط كالولايات المتحدة الأمريكية والتي يستمر إنتاج النفط فيها بالانخفاض منذ سبعينات القرن الماضي (وإن بدرجة أقل مما يتوقعه منحنى هابرت) مازالت تحتفظ في أراضيها بكميات هائلة من النفط غير المستثمر. فعلى الرغم من أن احتياطاتها النفطية المثبتة تبلغ اليوم 29 بليون برميل فقط، إلا أن مجلس النفط القومي يقدِّر أن 1.124 بليون برميل مازالت في باطن الأرض وأن 374 بليونا منها قد تكون قابلة للاستخراج باستخدام التقانات الحالية.

أما على المستوى العالمي، فإن مصلحة المساحة الجيولوجية الأمريكية تقدر أن مخزون النفط (البترول) التقليدي المتبقي يبلغ نحو سبعة إلى ثمانية تريليونات برميل. إلا أن المستوى الحالي من التقانة والمعرفة المهنية والأسعار لا تسمح إلا باستخراج جزء فقط من هذا النفط بشكل اقتصادي، وهذا الجزء هو ما يصنّف كاحتياطي مؤكد.

وثمة المزيد، فثلث الأحواض الرسوبية فقط - وهي التشكيلات الجيولوجية التي قد تحتوي على النفط - جرى استكشافه بشكل كامل بطرائق تقانية حديثة [*انظر الخريطة في هذه الصفحة*]. كذلك، فإن بيانات مصلحة المساحة الجيولوجية الأمريكية لا تشمل أنواع النفط غير التقليدية مثل النفط البالغ الثقل والرمل القطراني والسجيل النفطي وشيست البيتومين. وهذه الأنواع مجتمعة متوفرة بقدر وفرة النفط التقليدي على الأقل.

لذلك، فإن بلدا أو شركة قد يتمكن من زيادة احتياطاته من الذهب الأسود حتى من دون الوصول إلى مناطق أو تخوم جديدة إن كان بمقدوره استخراج المزيد من النفط من الحقول المعروفة، وهذا ليس

إن معظم موارد الكرة الأرضية المعروفة مازالت غير مستثمرة في باطن الأرض، ومازال المزيد بانتظار من يكتشفه.

(*) UNCHARTED LANDS (AND SEAS)

بالأمر السهل دائما.

بداية شاقة(*)

خلافا للاعتقاد السائد، فإن النفط غير محتجَز في بحيرات أو كهوف عظيمة في جوف الأرض، ولو قدِّر لك أن «تنظر» إلى حوض نفطي لما رأيت سوى بنية صخرية لا يبدو فيها مكان للنفط، ولكن فيما لا تستطيع العين البشرية أن تراه ثمة عالم من المسامات والشقوق الدقيقة غير المرئية في الغالب تحتجز نقيطات دقيقة من النفط والماء والغاز الطبيعي.

لقد أوجدت الطبيعة هذه الطبقات عبر ملايين السنين. بدأ ذلك حين تكدست مقادير هائلة من النباتات و**المتعضيات الميكروية** microorganisms الميتة في قيعان البحار القديمة ثم تحللت ودفنت تحت طبقات متتالية من الصخور. ومن ثم تحولت هذه الترسبات العضوية بفعل الضغوط ودرجات الحرارة العالية ببطء إلى النفط والغاز الذي نراه اليوم. يتخلل هذا الوقود الأحفوري مسامات صخور باطن الأرض كما يتخلل الماء في حجر الخفان.

إن حوضا كهذا يسلك عند الحفر إلى حدٍّ ما سلوك قارورة من الشمبانيا حين تنزع عنها سدادتها الفلينية. يتحرر النفط من محبسه الصخري القديم ويندفع بفعل الضغط الداخلي في الحوض إلى السطح (مترافقا مع حجارة وطين ومكسَّرات أخرى)، وتستمر هذه العملية إلى أن يتلاشى هذا الضغط، ويكون ذلك في العادة

(*) A Rocky Start
(**) THREE STAGES OF RECOVERY

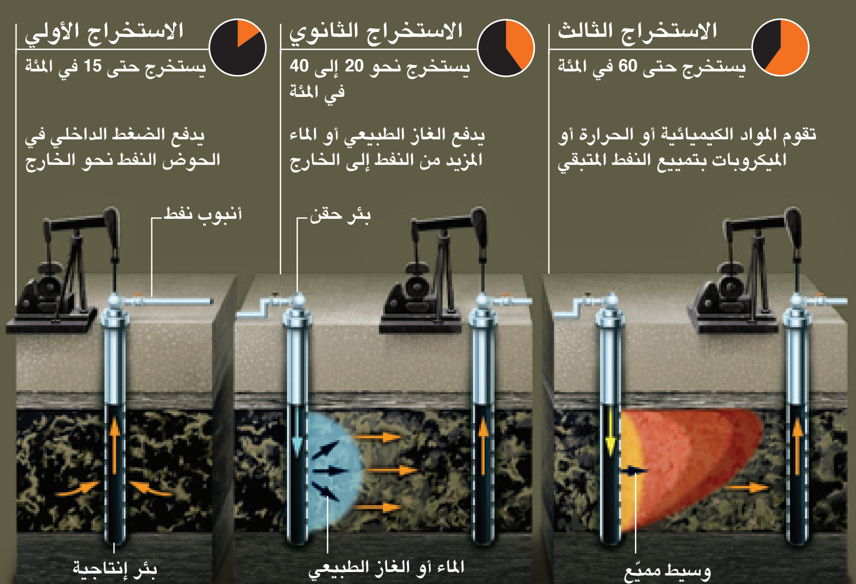


▲ إن أحواض النفط ليست بحيرات تحت سطح الأرض، ولكنها طبقات من صخور مسامية متشربة بالنفط. تم إحضار هذه العينة الأسطوانية التي يبلغ طولها 5سم من حقول بحرية بالقرب من صقلية واستثمارها باستخدام التقانات الحالية الباهظة الثمن. إن عروق النفط الثخينة الموجودة في هذه العينة صلبة الملمس كما لو أنها بقع على الصخرة البيضاء الكربونية.

[الأساسيات]

مراحل الاستخراج الثلاث(**)

لا يندفع من باطن الحوض سوى 10 إلى 15 في المئة من النفط تلقائيا عند الحفر (*الاستخراج الأولي، الصورة السفلى اليسرى*). بعد أن يتلاشى الضغط الداخلي، فإن ضخّ الماء أو الغاز الطبيعي في جوف الأرض يدفع المزيد من النفط نحو الخارج (*الاستخراج الثانوي، الصورة الوسطى*) بحيث يمكن استخراج 20 إلى 40 في المئة من النفط الأصلي. أما النفط المتبقي، فيكون إما في جيوب صغيرة منعزلة - فيتعذر استخراجه - أو يكون شديد اللزوجة فلا ينساق نحو الآبار. إلا أن التقانات المتقدمة [*انظر المؤطر في الصفحة المقابلة*] يمكن أن تميّعه ومن ثم ترفع المردود الإجمالي إلى ما يقارب أو يزيد على 60 في المئة (*الاستخراج الثالث، الصورة اليمنى*).



بعد بضع سنين. وفي مرحلة الاستخراج الأولية هذه يمكن الحصول على 10 حتى 15 في المئة من النفط الموجود، وبعدها لا بُدَّ من وسيلة مساعدة على الاستخراج.

يُطلق على ثلث ما يتبقى من النفط في الحوض بعد الاستخراج الأولي وفق عملية «الشمپانيا» اسم النفط غير المتحرك، وهو تلك القطرات المحتجزة ضمن مسامات منعزلة في الصخر بفعل قوى شعرية شديدة. وحتى الآن لا توجد تقنية تتيح استخراج هذا النوع من النفط. أما الثلثان المتبقيان فمع أنهما نفط متحرك فإنه لا يمكنهما بالضرورة التدفق إلى الآبار من تلقاء نفسيهما. وبالواقع، فإن نصف النفط المتحرك يبقى عالقا ضمن الحوض بسبب الحواجز الجيولوجية أو بفعل المسامية المنخفضة التي تحدث عندما تكون المسامات شديدة الضيق. ويكون الأمر أكثر سوءا إذا لم يكن النفط خفيفا بل مادة ثقيلة ولزجة تشبه الدبس.

وبغية دفع قسم من النفط المتبقي ضمن مسامات الصخور إلى الانسياب والخروج من الآبار تقوم الشركات عادة بحقن غاز طبيعي وماء في الحوض في عملية تسمى الاستخراج الثانوي. يؤدي حقن الغاز إلى استعادة الضغط المفقود، ويدفع ما يكون مائعا بدرجة كافية من النفط إلى الانسياب ضمن مسامات الصخور. أما حقن الماء، فإنه يرفع النفط نحو البئر كون النفط أخف من الماء تماما كما يؤدي صب الماء في كأس مليئة بزيت الزيتون إلى دفع الزيت نحو الأعلى.

في العقد الماضي أو نحوه أصبح التمييز بين الاستخراج الأولي والثانوي غير واضح تماما؛ لأن الشركات شرعت في تطبيق تقانات متقدمة منذ البداية. تمثل أحد أهم التطورات حتى الآن بالبئر الأفقية، وهي عبارة عن بنية بشكل الحرف L تتيح إنتاج كمية من النفط تفوق بشكل كبير ما ينتجه الحفر الشاقولي التقليدي الذي ظل يُستخدَم منذ ظهور الصناعة النفطية. إن هذا الشكل يُمَكّن الآبار الأفقية من تغيير اتجاهها والنفاذ إلى قطاعات من الحوض لا يمكن الوصول إليها بغير ذلك. لقد استخدمت هذه الطريقة في ثمانينات القرن الماضي لأول مرة، وهي تلائم على ـ وجه الخصوص ـ الأحواض التي يوجد فيها النفط والغاز الطبيعي ضمن طبقات رقيقة أفقية.

تحسنت وسائل التنقيب عبر السنين. فالتصوير المتطور الثلاثي الأبعاد لباطن الأرض – والذي يقوم على كيفية ارتداد الموجات الزلزالية عن الحدود الواقعة بين طبقات صخرية متباينة التركيب – يُؤمِّن اليوم معرفة أكثر تفصيلا ببنية الحقول الموجودة، مما يساعد على اختيار مكان الحفر واستمثال الاستخراج.

تستطيع طرق الاستكشاف والاستخراج المتقدمة المحافظة على نمو الإنتاج عقودا قادمة.

[تقانات الاستخراج الثالث]

أسلحة غير تقليدية(*)

بعد أن تؤدي طرق الاستخراج الأولي والثانوي دورها يمكن أن تقوم طرق أكثر شدة بتمييع النفط المتبقي بحيث يمكن أن يتدفق نحو الآبار. ونظرا لأنّ هذه الطرق المتقدمة مكلفة؛ فإن معركة الحصول على المزيد من النفط لا تحقق غايتها ما لم تكن أسعار إعادة البيع على درجة كافية من الارتفاع.



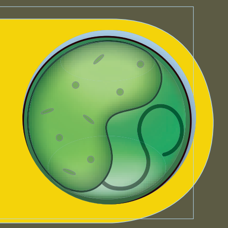
طريقة الإحراق

إن حرق جزء من الحوض (وهو ما يتطلب حقن هواء في باطن الأرض) يحسن نسبة الاستخراج بثلاث طرق: أولها أن الحرارة الناجمة عن النار تجعل النفط أقل لزوجة، وثانيها أن الاحتراق ينتج غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يدفع النفط إلى الخارج، وثالثها أن النار تحطم جزيئات النفط الكبيرة والثقيلة وتجعله أكثر حركية.



الطريقة الكيميائية

تحقن مواد كيميائية (تسمى مواد سطحية) في الحوض وتساعد النفط على التحرر من الصخر والتدفق بشكل أفضل. تحيط طبقات من هذه المواد السطحية بقطيرات النفط بطريقة تشابه الكيفية التي يزيل بها الصابون العادي المواد الزيتية عن سطح ما. يتمثل أحد أشكال هذه العملية بحقن مواد كيميائية تولّد مواد شبيهة بالصابون من مكونات موجودة ضمن النفط ذاته.



الطريقة البيولوجية

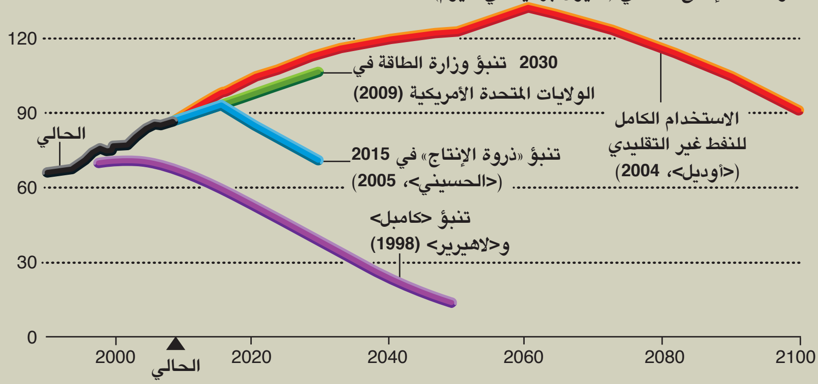
يتم اختبار تجارب حقن البكتيريا (مع مواد مغذية وأكسجين في بعض الأحيان) التي تنمو في السطح البيني الكائن بين النفط والصخر. يفسح المجال أمام البكتيريا للتكاثر على مدى أيام عدة قبل استئناف الاستخراج. وفي المستقبل قد تقوم متعضيات ميكروية محوّرة جينيا بهضم أكثر أنواع النفط لزوجة وتمييعه.

(*) UNCONVENTIONAL WEAPONS

تتبايـن التنبـؤات المتعلقـة بمسـتقبل إنتاج النفـط في العالم بشـكل كبير. فقد اسـتخدم بعض المحلليـن نمطـا اقترحه في الأصل الجيولوجي <M. K. هابرت> على شـكل منحنى جرسـي يصل إلى ذروته بحدود عام 2002 (*المنحنى البنفسجي*) أو عام 2015 (*المنحنى الأزرق*)، ثم ينحدر بعدئذ بصورة حتمية. إلا أنه ثمة تنبؤات أخرى أكثر تفاؤلا - ومنها توقعات حكومة الولايات المتحدة (*المنحنى الأخضر*) - تأخذ في الحسـبان احتمال اكتشـاف حقول نفط جديدة وأن تؤدي تقانات جديـدة إلـى الحصول على المزيد من النفط من الحقول القديمة. إن التنمية الكاملة لمصادر غير تقليدية مثل الرمل القطراني والسجيل النفطي قد تحافظ على الاتجاه الصاعد للمنحنى لخمسة عقود أخرى (*المنحنى الأحمر*).

كم تبقّى من النفط ؟

توقعات الإنتاج النفطي (مليون برميل في اليوم)





يعد الرمل القطراني من أكثر مصادر النفط غير التقليدي المحتملة وفرة، إلا أن استثماره يتطلب الكثير من الطاقة وقد تنجم عنه آثار جانبية خطيرة على البيئة بما فيها تولّد كميات كبيرة من المياه العادمة.

تتيح تقانــات التصويــر للجيولوجيين «مشــاهدة» مــا يحــدث تحــت الطبقات الملحيــة والتي تتوضع بشــكل غير منتظم تحت قــاع البحر وقد تزيد ســماكتها في بعض الأحيان على خمســة آلاف متر. إن الطبقات الملحية كانت تمثل - كما هي حال المياه المتجمدة - عقبة صعبة لأنها تشــوه الموجات الزلزالية والتي تســتخدَم لتشكيل صورة باطن الأرض.

إن هــذا التقدم في تقانــات التصوير، إضافة إلى تقانات بحرية متطورة قد أتاحا الوصول إلــى أجزاء جديدة من المحيطات. عندمــا تم تطوير حقول نفط بحر الشــمال في ســبعينات القرن الماضي بــدا كما لو أن التقانــات البحريــة قد تجــاوزت أكثر مراحلها مشــقة، فوصلــت إلى حقول تقع على عمــق ألف متر تحت قــاع البحر في مياه يبلــغ عمقها من مئة إلــى مئتي متر. ولكن الصناعة نجحت في السنوات القليلة الماضية في الحصول على النفط من أعماق زادت على ثلاثة آلاف متر من المياه وســتة آلاف متر مــن الصخر والملــح. ثمة ثلاثة اكتشــافات بحرية فائقة العمق على الأقل وهي ثندَر هورس وجاك في خليج المكسيك وتوپي قبالة ساحل البرازيل.

يعتمـد الأثـر الـذي يحدثه حـرق غالـون واحد من الوقـود علـى عوامل كثيرة منها كيفية اسـتخراج المواد الأولية ومعالجتها. واسـتخراج النفط اللزج بواسطة حقن البخار في باطن الأرض يتطلب طاقة إضافية مقارنة بضخ «النفط السـهل» إلى الخارج، ويـؤدي إلـى المزيد مـن انبعـاث غاز ثاني أكسـيد الكربـون. وكذلـك الأمـر عنـد اسـتخراج النفط من الرمـل القطرانـي. غير أن تحويـل الفحم إلى وقود الديزل يترافق مع أكثر الانبعاثات شدة.

انبعاثات ثاني أكسيد الكربون (مقدرة بكيلو غرام من ثاني أكسيد الكربون لكل غالون بنزين أو كمية مكافئة من أنواع الوقود الأخرى)

الوقود	الانبعاثات
النفط الناتج من الاستخراج الأولي (آلاسكا)	10.37
النفط المستخرج بحقن البخار (كيرن ريڤر)	12.2
الرمل القطراني بحقن البخار	12.81
الديزل من الفحم	23.15
الإيثانول من الذرة	10.35
الديزل من فول الصويا	5.98

ذروة نفطية أم لا ؟[*]

يساور القلق الكثير من المراقبين حول توفر النفط في المستقبل، وفيما إذا كان النمو المطّرد في إنتاج النفط العالمي قد وصل إلى نهايته. يشكّك المؤلف في ذلك علنا ولذلك حاورناه للتوسّع في هذا الموضوع.

مجلة *ساينتفيك أمريكان (SA)*: كثيرا ما قلت علنا إن الصيحات حول قرب «ذروة نفطية» تثير المخاوف بشكل زائد. ولكن أليس من الأفضل أن نكون في الجانب الآمن بدلا من أن نصبح آسفين؟

د. موگيري: من السخف أن يتنبأ المرء بذروة الإنتاج العالمي لأن ذلك يفترض معرفة المرء بشكل مسبق بكمية النفط الموجودة في باطن الأرض، ولكن في الحقيقة لا أحد يعرف المقدار الكلي ولا حتى من حيث المرتبة. كما أن الأثر الأكثر سوءا لهذا الذعر النفطي المتكرر هو أنه يدفع بالدوائر السياسية الغربية إلى تأكيد سيطرتها على مناطق إنتاج النفط.

SA: ولكن المناصرين لـ «الذروة النفطية» يشيرون إلى عدم ثبات أسعار النفط الخام (حيث هبط من السعر الأعلى البالغ 147 دولارا للبرميل في الشهر 2008/7 إلى نحو 32 دولارا للبرميل في الشهر 2008/12 ليرتفع من جديد إلى 70 دولارا في الشهر 2009/8) كإشارة إلى أننا نقترب من ذروة الإنتاج.

موگيري: لو أن كل إنسان ظن أن النفط في طريقه إلى النفاد لارتفعت الأسعار باطّراد بدلا من تذبذبها. وبما أن سعر النفط يحدِّد أسعار مصادر الطاقة كافة، فإن عدم اليقين هذا يلحق الضرر بالجميع. انظر إلى ما أصاب الاستثمارات في الطاقة المتجددة منذ نهاية عام 2008!

SA: في الواقع، فإن المشاريع الكبيرة - مثل خطة ملك النفط ت. بون پيكنز بشأن محطة ريحية[1] في تكساس - قد توقفت، فلماذا تتذبذب الأسعار؟

موگيري: إن نظريتي هي أن الطاقة الإنتاجية الاحتياطية - أو عدمها - هي الدافع في دورة أسعار النفط. والمشكلة هي أنك لا تستطيع أن تغير الطاقة الاحتياطية بين عشية وضحاها.

SA: ماذا يمكن للمرء أن يفعل من أجل تثبيت الأسعار؟

موگيري: أثناء اجتماع وزراء الطاقة في مجموعة الثماني الكبار G8 في الشهر 2009/5 الماضي، طرحت شركتي «إيني» اقتراحا لإنشاء وكالة عالمية للطاقة تكون مختصة بالحد من تقلبات أسعار النفط. وستكون مهمتها الرئيسة هي تقديم بيانات شاملة وشفافة عن سوق النفط وإدارة صندوق استقرار عالمي لمنع أسعار النفط من الانهيار فضلا عن سوق طاقة إنتاجية احتياطية لمنع هذه الأسعار من أن ترتفع بمقدار كبير.

SA: هل ارتفاع أسعار النفط أمر جيد أم سيىء من وجهة النظر البيئية ؟

موگيري: يحتاج العالم إلى سعر نفط لا يكون شديد الارتفاع ولا شديد الانخفاض. وفي الظروف الحالية يكون السعر المثالي بين 60 إلى 70 دولارا. فإذا تجاوزت الأسعار 70 دولارا، فإن طرق استخراج النفط الحيوي غير الفعالة ستصبح رابحة، ومنها على سبيل المثال تحويل الذُّرة إلى إيثانول، ومن ثم سيبدأ الوقود الحيوي بالحلول محل الزراعة العالمية وهذا يؤدي إلى آثار مريعة على الفقراء في العالم. أما إذا انخفض السعر إلى أقل من 50 إلى 60 دولارا فسيهمل حفظ المصادر وستختفي مشاريع الطاقة المتجددة من الوجود.

استخلاص صعب[**]

بالترافق مع ازدياد بُعد الآبار وعمقها تطورت التقانات التي تتيح الحصول على المزيد من النفط من الصخور بعد أن تكون طرق الاستخراج الأولي قد أدت واجبها. إن مرحلتي الاستخراج الأولي والثانوي مجتمعتين تجعلان نسبة الاستخراج بين 20 إلى 40 في المئة، ولتجاوز هذه النسبة - وهو ما يدعوه الخبراء بمرحلة الاستخراج الثالثة - يكون من الضروري عادة تقليل لزوجة النفط المتبقي، يمكن ذلك باستخدام الحرارة والغازات والمواد الكيميائية وحتى الميكروبات. لقد كانت طريقة حقن البخار، وهي إحدى الطرق التي تقوم على التسخين، حاسمة خلال ستينات القرن الماضي في استمرار الحياة في حقل كيرن ريڤر النفطي، حيث يقوم البخار بتسخين الطبقات العليا وتمكين النفط من التحرك. وما زال مشروع الحقن بالبخار في هذا الحقل ضمن الأكبر من نوعه في العالم حتى يومنا هذا. أما في ألبيرتا فقد استخدِم شكل مختلف للاستخراج المعزّز بالبخار في توضّعات الرمل القطراني والتي يتعذر التعدين السطحي منها بسبب عمقها.

ثمة عملية أخرى تقوم على التسخين وتم اختبارها في الحقل وهي إحراق جزء من هدروكربونات الحوض بإشعالها بواسطة سخان مع ضخ الهواء في البئر لتغذية الاحتراق. تولّد النار حرارة **وثاني أكسيد الكربون** (CO_2)، وهما يؤديان معا إلى خفض لزوجة النفط، كما أن كمية كبيرة من

(*) Peak or No Peak?
(**) Scraping the Barrel
(١) أي محطة لتوليد الكهرباء باستخدام طاقة الرياح. (التحرير)

ثاني أكسيد الكربون تبقى في باطن الأرض وتساعد على دفع النفط نحو الخارج. وفي الوقت نفسه تقوم النار بتحطيم جزيئات النفط الأكثر كبرا وثقلا مما يجعل النفط متحركا. يمكن التحكم في تيار الهواء للحد من كمية النفط المحترقة ولمنع انطلاق التلوث إلى البيئة المحيطة.

هناك طريقة أخرى أكثر شيوعا وهي حقن غازات عالية الضغط مثل ثاني أكسيد الكربون أو الآزوت في الحوض. يمكن لهذه الغازات أن تستعيد ضغط الحوض وأن تحافظ عليه، كما أنها تمتزج مع النفط فتقلل كلا من لزوجته ومن القوى التي تحتفظ به محتبسا. لقد قامت الولايات المتحدة منذ سبعينات القرن الماضي باستخراج النفط باستخدام ثاني أكسيد الكربون المستخلص من غازات البراكين أو من الغازات العادمة المنطلقة من محطات توليد الكهرباء. وحاليا تُستخدَم هذه الطريقة في أكثر من مئة مشروع قائم ولها شبكة أنابيب مخصصة يتجاوز طولها الإجمالي 2500 كم.

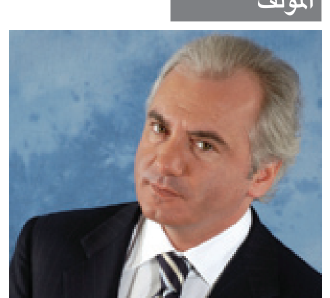
إن المعرفة المهنية التي تجمعت من خلال استخدام طريقة الحقن بثاني أكسيد الكربون قد فتحت الباب أمام أَسْر ثاني أكسيد الكربون من محطات توليد الكهرباء وتخزينه، وهذه إجراءات قد تساعد على التقليل إلى حد كبير من انبعاث غاز الدفيئة هذا إلى الجو واستبقائه بدلا من ذلك في باطن الأرض لمئات السنين. فأول مشروع تجاري لجمع الكربون وتخزينه يعمل منذ عام 1996 في حقل سليبنر قبالة سواحل النرويج ويخزّن مليون طن من ثاني أكسيد الكربون سنويا. ومع أن هذا المقدار ضئيل بالنظر إلى أن كمية غازات الدفيئة التي تنبعث إلى الجو نتيجة النشاط البشري وحده تقدّر بخمسين بليون طن من ثاني أكسيد الكربون في السنة، إلا أن نجاح تلك المنشأة يمثل برهانا على صحة الفكرة.

بيد أنه من المفارقات أن يكون أحد المصاعب التي تواجه استخدام ثاني أكسيد الكربون في استخراج النفط هي ندرته. ذلك أن جمعه من مداخن محطات توليد الكهرباء أو من البراكين ليس رخيصا، كما أن تكاليف جمعه من مصادر أصغر مثل السيارات أو معظم المعامل الصناعية باهظة. وثمة عائق آخر هو نقله الذي قد يكون باهظ الثمن جدا في حال كانت حقول النفط واقعة في مناطق بعيدة.

يعدّ الاستخراج المعزز بوسائل كيميائية استراتيجية أحدث. فهناك مواد كيميائية تمتزج بالنفط المحتبَس فتجعله أقل لزوجة، وبذلك يتمكن من التدفق نحو البئر. تعمل جميع هذه المواد على المبدأ نفسه الذي يشبه كيف تمتزج طبقات جزيئات الصابون بالمواد الدسمة وتعمل على إزالة الشحم عن أيديكم. إن أكثر العمليات الكيميائية نجاحا تزيد أيضا من لزوجة المياه الجوفية مما يساعد المياه على دفع النفط باتجاه الآبار من دون أن تسبقه في الوصول إليها. يعود إلى هذه العملية الفضل في استخراج عشرة في المئة إضافية من نفط حوض حقل داكينگ النفطي في الصين منذ منتصف تسعينات القرن الماضي. كذلك، فإن أحد أشكال هذه العملية يقوم على استخدام محلول كاوٍ لإنتاج المواد الشبيهة بالصابون من مكوناتٍ موجودة في النفط ذاته مما يحدّ من التكاليف الإجمالية.

إن تعزيز استخراج النفط ميكروبيا مازال في أول الطريق، وثمة تجارب جارية في الولايات المتحدة والصين وغيرها من البلدان. يقوم المهندسون بضخ كميات كبيرة من الميكروبات المتخصصة في الحوض مع بعض المواد المغذية والأكسجين في بعض الأحيان فتتكاثر الميكروبات في السطوح البينية الكائنة بين النفط والصخور فيساعد ذلك على تحرير النفط. وتفتح الهندسة الجينية الباب أمام إمكانية تعديل البكتيريا والمتعضيات الميكروية الأخرى وجعلها أكثر


المؤلف



Leonardo Maugeri

اختصاصي بالاقتصاد، وهو نائب الرئيس التنفيذي في شركة إيني Eni الإيطالية، وهو عالم زائر في المعهد MIT وعضو في مجلسه الاستشاري الخارجي للطاقة. نال كتابه «عصر النفط» جائزة الامتياز الأمريكية عام 2007. أما كتابه الجديد «ما وراء عصر النفط: خرافات، وحقائق، ومستقبل الوقود الأحفوري وبدائله» فسوف تقوم دار پريگر بنشره في مطلع عام 2010.

فعالية في المساعدة على استخراج النفط.

ليست التقنيات المذكورة آنفا رخيصة، ولكن بعضها اقتصادي (وبشكل خاص الاستخراج المعزز بثاني أكسيد الكربون إذا كان مصدر الغاز قريبا والوصول إليه سهلا) طالما بقيت أسعار برميل النفط الخام أعلى من ثلاثين دولارا، كما أن معظمها - بما في ذلك طرق الاستخراج التي تقوم على المواد الكيميائية - يصبح اقتصاديا عند سعر الخمسين دولارا للبرميل الواحد.

علائم النصر القادم(*)

لقد شارف «النفط السهل» على النفاد. ربما لأنه كان الأوّل الذي تم اكتشافه وحرقه. إن العديد من كبرى أحواض النفط وأكثرها إنتاجا في العالم تقترب مما أسمّيه النضوج التقاني والذي يحدث عندما لا تعود التقانات التقليدية مجدية. وهذه تشمل أحواضا في بلدان الخليج العربي والمكسيك وفنزويلا وروسيا بدأ إنتاج النفط منها في ثلاثينات وأربعينات وخمسينات القرن الماضي، ولكي تستمر هذه الحقول بالإنتاج ينبغي الاستعانة بتقانات جديدة.

ولكن «النفط السهل» لم يكن «سهلا» إلى هذه الدرجة عند اكتشافه. كذلك سيصبح النفط الصعب الموجود حاليا نفطا سهلا في الغد بفضل منحنى تعلم الخبرة التقانية؛ وما الفتوحات التقانية في الصناعة النفطية إلا نتيجة عمليات طويلة مضنية. لقد جُرِّب الحفر الأفقي أول مرة في ثلاثينات القرن الماضي، كما أن بعضا من أكثر طرق الاستخراج تقدما في الوقت الراهن كان موجودا في خمسينات القرن الماضي. ولكن في معظم حقب الصناعة النفطية كان النفط موجودا بوفرة جعلت سعره متدنيا بحيث أصبحت الابتكارات المتميزة ذات التكلفة العالية غير مبررة. غير أننا نشهد إشراقة عهد جديد تكون فيه وتيرة تبني التقانات الجديدة أكثر سرعة.

قد يتباطأ التحول نحو زيادة معدلات الاستخراج بسبب الموجة الحالية من تأميم الموارد. فبينما كانت الشركات النفطية الرئيسة تهيمن على نحو ثمانين في المئة من الاحتياطي النفطي العالمي في مطلع سبعينات القرن الماضي أصبح اليوم نحو تسعين في المئة من النفط العالمي التقليدي تحت السيطرة المباشرة للدول المنتجة عبر شركاتها النفطية الوطنية. بيد أن مستقبل الطلب على النفط غامض ما يجعل بعضا من هذه الدول مترددا في الاستثمار في التقانات الجديدة أو في الاستكشاف، خصوصا وأن استثمارات كبيرة كهذه تعني تقليص موارد برامج التنمية الاقتصادية والاجتماعية.

ومع ذلك، فإنني أجرؤ على التنبؤ بالتالي: سيكون بالإمكان بحلول العام 2030 استخراج خمسين في المئة من النفط المعروف اليوم، وفي ذلك الحين أيضا ستكون كمية النفط المعروف قد ازدادت بشكل ملموس وسيكون قدر أكبر من النفط غير التقليدي مثل السجيل النفطي قد أنتج بحيث يبلغ مجموع الاحتياطيات القابلة للاستخراج نحو 4500 حتى 5000 بليون برميل من النفط. إن جزءا كبيرا من هذه «الاحتياطيات الجديدة» لن يكون نتيجة اكتشافات جديدة بل نتيجة مقدرة جديدة على تحسين استثمار ما بحوزتنا.

تأكيدا لما سبق، فإننا سنكون بحلول العام 2030 قد استهلكنا 650 حتى 700 بليون برميل إضافي من احتياطياتنا بحيث يصل مجموع الاستهلاك إلى نحو 1600 بليون برميل من أصل الـ 4500 إلى 5000 بليون برميل. فإذا صحت تقديراتي سيكون النفط متوفرا لنا لما تبقى من القرن الحادي والعشرين. وستكون المشكلة الرئيسة في الكيفية التي سنستخدم فيها النفط المتبقي دون هدره من خلال عادات استهلاكية غير مقبولة، وفوق ذلك كله من دون أن نُعرِّض بيئة ومناخ كوكبنا للخطر. ■

(*) Future Eurekas

مراجع للاستزادة

The Economics of Petroleum Supply. Morris A. Adelman. MIT Press, 1993.

Petroleum Provinces of the Twenty-First Century. Marlan W. Downey, Jack C. Threet and William A. Morgan. American Association of Petroleum Geologists, 2002.

The Age of Oil: The Mythology, History, and Future of the World's Most Controversial Resource. Leonardo Maugeri. Praeger Publishers, 2006.

Oil in the Twenty-First Century: Issues, Challenges, and Opportunities. Edited by Robert Mabro. Oxford University Press, 2006.

Grassoline at the Pump. George W.Huber and Bruce E. Dale in *Scientific American*, Vol. 301, No. 1, pages 40–47; July 2009.

***Scientific American*, October 2009**

عدسة أفضل من أجل رؤية الأمراض[*]

يمكن للشرائح الپاثولوجية المُحَوسَبة[١] أن تساعد الأطباءَ على جعلَ تشخيص الأمراض أسرع وأكثر دقة.

<M. ماي>

في السنوات الأخيرة من تسعينات القرن العشرين تخيَّل <G .D. سونكسن> مستقبلا جديدا **للپاثولوجيا**[٢] pathology. ففي ذلك الوقت كان الپاثولوجيون يجلسون في كثير من الأحيان على كتب أدلّة الهاتف حتى يستطيعوا الحصول على منظر جيّد عند التحديق في **مجاهرهم**[٣]، بينما كان أولاد <سونكسن> في الوقت نفسه يشاهدون الصور بواسطة شاشات **مرقاب عالية الميز** high-resolution monitors، وهم يلعبون ألعاب الفيديو التلفازية مثل نينتيندو Nintendo لا أكثر. لذا تساءل <سونكسن>: «لماذا لا يتمكَّن مستخدمو المجاهر أيضا من الرؤية من خلال شاشات المرقاب الحاسوبية؟»

كان ذلك السؤال هو الأمر الذي جعل <سونكسن> ينطلق في رحلة طويلة شرع فيها من مرآب سيارته. وبعد ثمانية عشر شهرا من الجهد الدؤوب، برز كرئيس لشركة پاثولوجيا رقمية تمَّ إنشاؤها حديثا اسمها آپيريو Aperio، وهو يديرها حاليا في مدينة ڤيستا Vista بولاية كاليفورنيا. ولا تكتفي تقانته - وكذلك تقانة الشركات الحديثة بل وحتى الشركات الراسخة في العناية الصحية - بنقل صور الأنسجة المريضة من المجاهر إلى شاشات الحواسيب، بل تَعِد أيضا بجعل التشريح المرضي، الذي يتضمَّن تفسير بيانات الخزعات، طريقة تعتمد القياس الكمي. وهذا التطوّر بدوره يجب أن يعزِّز الدقّة في تشخيص الأمراض، وأن يساعد الأطباء على تحرّي مدى فعالية علاج ما، بحيث يمكن تطبيق أية تغييرات مطلوبة بشكل فوري.

إنّ غالبية **الپاثولوجيين**[٤] صاروا الآن يستخدمون الحواسيب بطريقة ما، حتى ولو كان ذلك لوضع ملاحظاتهم على الأقلّ ضمن ملفّات المرضى. وإلى جانب مرقاب الحاسوب تغطّي عادة الكرّاساتُ المبوَّبة وأكوامُ الأوراق مكتبَ الپاثولوجي. ولكن يبدو أنّ الپاثولوجي الذي يقوم بأبحاث علمية هو وحده الذي تتوفَّر له إمكانية تفحّص عيّنة ما **كملف رقمي** digital file. وبشكل عام يفتقد الپاثولوجيون في الوقت الحالي القدرةَ على إعداد **شرائح مُرقمَنة** digitized slides أو الحصول عليها، ولم توافق **إدارة الغذاء والدواء الأمريكية** (FDA)[٥] على إعادة دراسة شرائح من هذا النوع إلاّ في تطبيقات طبّية محدودة العدد، تتعلَّق جميعها بسرطان الثدي.

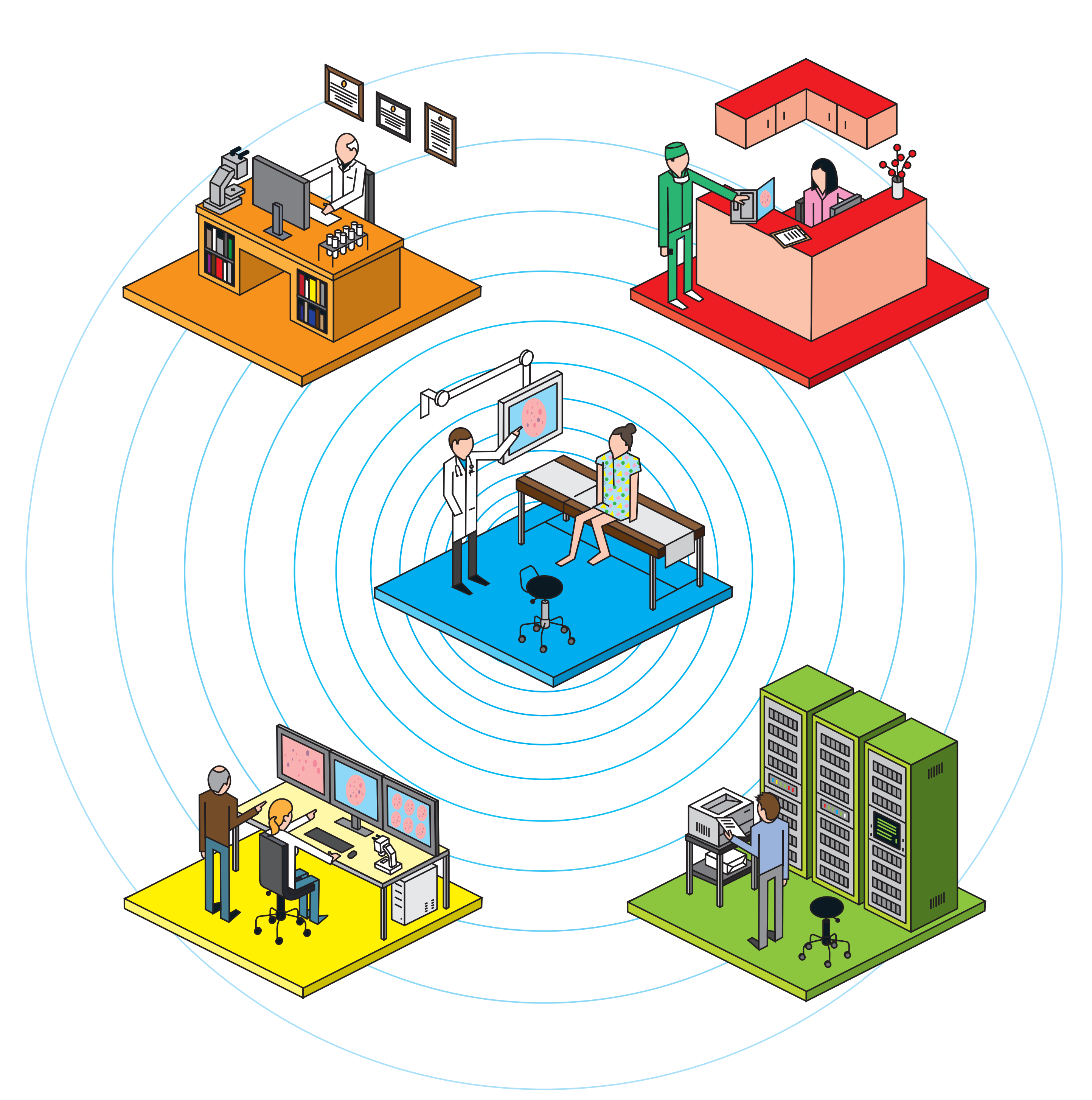
في زمننا الحاضر لا تزال مئات الملايين من الشرائح الپاثولوجية التي يتمّ تحضيرها سنويا تُعامَل بالطريقة نفسها التي يجري بها هذا الأمر منذ أكثر من مئة سنة. فالعيّنة

مفاهيم مفتاحية

- إنّ تحديث الپاثولوجيا[١] - هذه المهنة التي واظبت على معاملة العيّنات بالطريقة نفسها منذ مدة تتجاوز المئة سنة- وإعادة صياغتها من جديد، هو أمرٌ كان يجب الوفاء به منذ فترة طويلة.
- تسمح التقنيات البازغة بالتعامل مع صور مُحوسَبة للخزعات بواسطة طرائق جديدة وغير معهودة من قبل.
- في نهاية الأمر سوف تسمح الپاثولوجيا الرقمية بالوصول إلى تشخيص أكثر دقة فيما يخصّ العيّنات النسيجية، سواء أكان مصدرها عيادة الاختصاصي بعلم الأورام أم مسرح جريمة ما.

محرِّرو ساينتفيك أمريكان

(*) A BETTER LENS ON DISEASE
(١) computerized pathology slides
(٢) أو علم الأمراض.
(٣) ج: مجهر أو ميكروسكوب.
(٤) اختصاصيو علم الأمراض.
(٥) the U.S. Food and Drug Administration



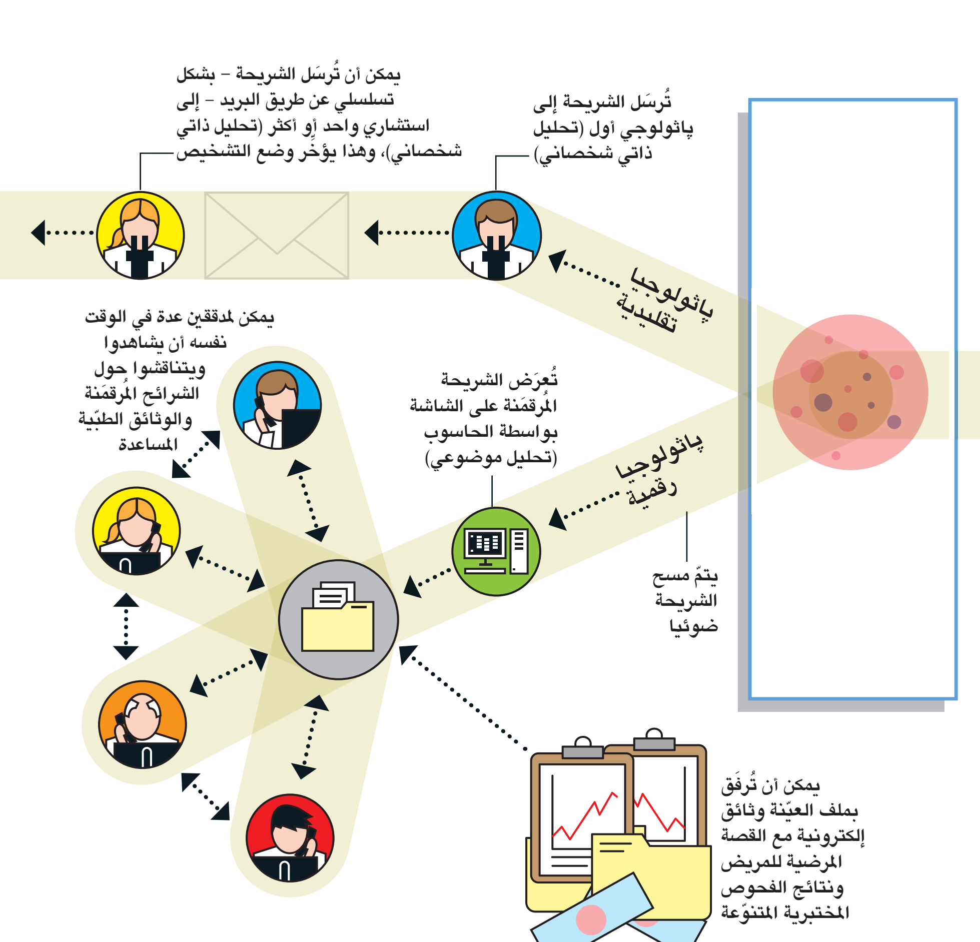
النســيجية يتمّ تقطيعها إلــى مقاطع ذات ثخانة مماثلة لــلأوراق أو أرقّ، ويتمّ إظهار ما فيها من ميّزات معيّنة عن طريق تلوينها. وبعد ذلــك يضع الپاثولوجيون الشــريحة الزجاجية تحت المجهر. وعلى سبيل المثال، يبحث الپاثولوجي في حالة خزعة لسرطان ثدي عن مجموعة من الصفات في النســيج المــدروس، وهــي تتضمَّــن عــدد الخلايا الشــاذة في المقطع ودرجة خباثــة الورم،

ويعتمد الأمر الأخير على بعض المواصفات مثل بنية الخلية. «وهذا يتمّ حاليا بواســطة العيون البشرية المتركّزة على المجاهر والتي تتفحص جميع النقاط الصغيرة بدقة» حسب ما يقوله <K .G. ميشالوپولوس>، رئيس قسم الپاثولوجيا في جامعة پيتسبورگ.

وفي واقع الأمــر لا يعاين الپاثولوجيون جميــع المــوقــع في كـل شــريحة، بينما يمكن تفحّص النسخ المرقمنة بشكل أكثر

سيؤدي تسهيل وضع التشخيص الناجم عن استخدام الشرائح المُرقمَنة للعيّنات النسيجية إلى تغيير كامل في شكل الپاثولوجيا التي تعتبر واحدة من المهن التحليلية القليلة والتي تلكّأت عن تبنّي الحوسبة الشاملة.

لا يزال الباثولوجيون يعاملون شرائح الأنسجة المُحتمَل أن تكون مرضية بالطريقة نفسها التي اعتادوا عليها دائما. فهم يفحصون العيّنات المحضّرة بواسطة المجهر في عملية شاقة تتمّ تدريجيا خطوة خطوة، ويدلي خلالها باثولوجيون عديدون بآرائهم بشأنها. ويمكن أن تسمح الطرق الرقمية بالتشارُك الفوري في رؤية صورة العيّنة، وهذا ما يسرِّع الوصول إلى التشخيص.

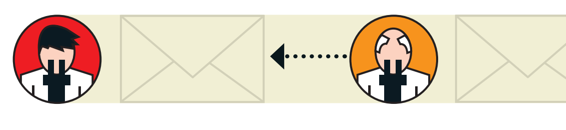


شمولية. فالحاسوب يستطيع تحليل أيّ **عنصورة**[1] (**بِكسل** pixel) (عنصر صغير من الصورة التلفازية) في أيّ شريحة رقمية، ويستطيع أن يحدِّد **الخاصِّيات** attributes المميِّزة لحالة الصحة وحالة المرض مثل البنية الداخلية واللون والتركيب والكثافة في كلّ عنصورة من كلّ خلية مدروسة، وأن يقيسها. في حين أنّ الباثولوجي المنكب المحنيَّ الظهر فوق مجهره لن يستطيع أن يقيّم تلك الخاصِّيات نفسها إلاّ في عدد محدود جدا من الخلايا دون غيرها.

ومع ذلك لن يُخْرِجَ التحوّلُ إلى الحواسيب الباثولوجيين من مسرح الأحداث، بل بالعكس تستطيع الشرائح المُرقمَنة أن تشرك فعليا عددا أكبر من الباثولوجيين في عملية وضع التشخيص، ومن ثَمّ تستبعد حدوث الأخطاء الطبّية. يقول ‹ميشالوپولوس› إنّ استشارة الآخرين من أجل وضع التشخيص هو «جزء من الحياة اليومية في الباثولوجيا». ويتابع قائلا إنه في يومنا هذا «عندما تُرْسَل شريحة زجاجية بالبريد، يستغرق الأمر يومين أو ثلاثة أيام – حتى باستخدام أسرع الوسائل المتوفّرة– كي تصل الشريحة إلى مقصدها». أمّا باستعمال التقنية الرقمية فيمكن إرسال الصورة النسيجية إلى الآخرين إلكترونيا، أو يمكن – على الأرجح – وضعها في موقع مأمون على شبكة الإنترنت بحيث تصبح متوفّرة من أجل استشارة باثولوجي موجود على الجانب الآخر من الكرة الأرضية خلال بضعة ثوان لا أكثر. وفي حال كانت الاستشارات المطبَّقة على الشرائح أسهل إجراء وأسرع توفّرا إلى هذه الدرجة، فإنّ الباثولوجيين يمكنهم أن يتشاوروا أكثر مما يفعلون في الوقت الراهن. وكما يقول ‹ميشالوپولوس›: «إنّ الاستشارة هي الطريقة الوحيدة لحسم الجدال، وفي كثير من الأحيان يختلف الخبراء في وجهات نظرهم، لذلك تحتاج في هذه الحالة إلى إرسال الشرائح إلى خبراء خارجيين.»

إن تآزر هذين التطوّرين الكبيرين –أي التحليل ذي الميّزات الأكثر من الناحية الكمّية والقدرة الأسرع على التشارُك في رؤية الصورة من أجل إجراء الاستشارات – هو المبرِّر المنطقي الرئيسي للجوء إلى استخدام العيّنات الباثولوجية المُرقمَنة. ولكنّ الوصول إلى هذا الهدف سوف يعتمد على حلّ سلسلة من المعضلات التقنية والمؤسساتية التي شرعت شركة آپيريو وغيرها من شركات التقانة الرقمية في أخذها على عاتقها.

(١) عنصورة: نحت من عنصر صورة.



إحدى العقبات المفتاحية في وجه الرؤية السابقة هي ببساطة إنتاج صورة رقمية **عالية المَيْز** high-resolution للعيّنة على الشريحة، وهي مهمة أصعب ممّا قد تبدو عليه ظاهريا. وفي بدايات تسعينات القرن العشرين بدأ بعض الباثولوجيين بتجربة **المقاربات الرقمية** digital approaches عن طريق وضع كاميرا رقمية ببساطة على العدسة العينية للمجهر، ومن ثم التقاط الصور بواسطتها. وبغضّ النظر عن كون هذه الطريقة صعبة وخرقاء، فإنها فشلة في توفير درجة المَيْز المطلوبة.

في الباثولوجيا الرقمية الراهنة تُحضَّر الشريحة بالطريقة الاعتيادية، ولكن يتمّ تحميلها لاحقا إلى **ماسحة ضوئية** scanner. وفي داخل الماسحة تتحرك العدسة الجسمية للمجهر، وهي عدسة مكبّرة بشكل أساسي جيئة وذهابا فوق الشريحة، وتُلتَقط الصورة بواسطة تقانة تصويرية مثل كاميرا **عنصر قَرْن شحني** (CCD)[(1)]. وتأخذ سرعة الإجراء دورا جوهريا في الباثولوجيا الرقمية. فعلى سبيل المثال، تستطيع الماسحة في شركة آپيريو أن ترقمن عيّنة نموذجية – يبلغ طول بُعْدها الجانبي نحو 15 ملّيمترا، أو ما يقارب أبعاد طابع بريد عادي – بدرجة مَيْز تبلغ 0.5 ميكرون لكل عنصورة خلال دقيقتين تقريبا.

تمثّل الأرقام السابقة تحدّيا أساسيا، إذ إنّ رَقمنة شريحة واحدة، كتلك الموصوفة أعلاه لا أكثر، إلى درجة المَيز اللازمة من أجل الرؤية التفصيلية تتطلّب 900 مليون عنصورة. وللمقارنة نذكر أنّ صورة فوتوغرافية أبعادها 4×5 بوصات يتمّ مسحها بدرجة مَيْز تبلغ 300 نقطة في البوصة –وهي درجة مَيْز معيارية للطباعة في المجلات– تتكوّن من 1.8 مليون عنصورة فقط. وهكذا نرى أنَّ شريحة الباثولوجيا المُرقمنة تتطلّب مقدارا من العنصورات يبلغ 500 ضعف ذلك الرقم.

ويستلزم تسريع رقمنة الصور استخدام معدّات إلكترونية أسرع في كلّ من تجميع البيانات ومعالجتها. وتقوم بعض الماسحات بالحصول على صورة من الشريحة الزجاجية في قطع صغيرة مربعة الشكل تُدعى **البلاطات** tiles، وتربطها البرمجيات الحاسوبية بعد ذلك معا لتشكِّل شريحة رقمية كاملة. بينما تقوم أجهزة أخرى –مثل تلك التي في شركة آپيريو– بمسح الشريحة في **شرائط** stripes (كما تفعل آلة الفاكس)، وتولّد الصورة خلال هذه الحركة.

ولكن مهما كانت السرعة التي تعمل بها الماسحة الضوئية، فإنّ هذه السرعة لن تكون كافية. يقول <ل. هو> [الاختصاصي في باثولوجيا الجلد من المركز الطبي في جامعة پيتسبورگ]: «نحن نحضر على الأرجح 1.5 مليون شريحة زجاجية سنويا، هذا من دون حساب الشرائح التي تعالج بملوِّنات خاصة. فلو قامت ماسحة واحدة بإنجاز شريحة كل دقيقتين، لاستلزم قيامها بمسح شرائح ذلك المركز الطبي في سنة واحدة ما يعادل ثلاثة ملايين دقيقة: أي أكثر من خمس سنوات من المسح المستمر 24 ساعة في اليوم وسبعة أيام في الأسبوع.

هل الطريقة الرقمية جيّدة بدرجة كافية؟[(**)]

السؤال الآخر الذي يتبادر إلى الذهن هو ما إذا كان الباثولوجيون الذين يفحصون الشرائح القادمة من شركة آپيريو وغيرها من الشركات والظاهرة على شاشة الحاسوب، يستطيعون تمييز الشذوذات النسيجية

صورة قياسها 5×4 بوصات

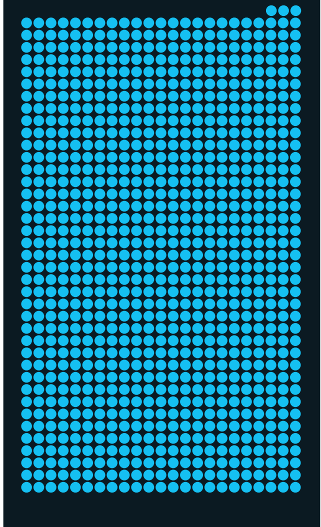
شريحة قياسها 15×15 مليمترا

ما هو العامل المؤخِّر؟[(*)]

إنّ التقانة الرقمية موجودة في كل مكان. إذن فلماذا لم تستعمل الشرائح الرقمية منذ عقود من الزمن؟ يكمن الجواب عن هذا السؤال في حجم الملفات التي يتمّ تخزين الشرائح فيها. إذ إنّ رقمنة شريحة واحدة ذات حجم يقارب طابع بريدي تتطلّب 900 مليون عنصورة، أي أكثر بنحو 500 ضعف من العدد اللازم لصورة فوتوغرافية قياسها 5×4 بوصات تُمسَح بدرجة مَيْز 300 نقطة في البوصة.

الأصل: صورة قياسها 5×4 بوصات
درجة المَيْز: 300 نقطة في البوصة (المقدار العياري للطباعة)
مقدار العنصورات الكلي: 1.8 مليون

الأصل: شريحة قياسها 15×15 مليمترا
درجة المَيْز: 0.5 ميكرون لكل عنصورة
مقدار العنصورات الكلي: 900 مليون



(*) WHAT'S THE HOLDUP?
(**) Is Digital Good Enough?
(1) charge-coupled device

بدرجة الجودة نفسها التي يقدرون عليها وهم يفحصون الشرائح المعيارية بواسطة المجاهر. وقد قام «M. D. جوكيك» وبعض من زملائه في المركز الطبي في پيسبورگ بمقارنة الپاثولوجيا التقليدية بالتقانات الرقمية في مقالة نُشرت في مجلة (*الپاثولوجيا البشرية* *Human Pathology*) في عام 2006. وفي معظم الأحيان وجد هؤلاء الپاثولوجيون أنّ الملفات الرقمية تقارب بالجودة شرائح الدراسة المجهرية من ناحية تمكينهم من تشخيص الأمراض بواسطة تفحّص الصور.

إذا كانت جودة الپاثولوجيا الرقمية تعادل جودة الطرق القديمة العهد لا أكثر، فما الذي يمكن أن يجعلها أفضل منها؟ إنّ القدرة على التشارُك في الشرائح هي أحد الأجوبة عن هذا السؤال. وعلى سبيل المثال، يعمل **مخدِّم نيت إيميج** Net Image Server بالمشاركة مع برمجيات المشاهدة **أوليڤيا** OlyVIA من شركة أوليمپوس بطريقة مشابهة إلى حدّ بعيد لصفحة اعتيادية في شبكة الإنترنت. وبدلا من إرسال الشرائح المُرقمَنة -التي يمكن أن يبلغ حجمها عدة گيگابايت أو أكثر (أي فيها من المعلومات بمقدار ما يمكن أن تحتويها ثلاثة أقراص مدمجة)- تولِّد هذه البرمجيات ما يماثل المستودع للشرائح على موقع في شبكة الإنترنت أو ضمن مخدِّم ما.

عندما ينقر الپاثولوجي على وصلة **عقلة إصبع** thumbnail إلكترونية، تقوم برمجيات أوليمپوس بتحميل ما يكفي من الصورة لملء صندوق عرض على الشاشة. وهذا يشبه كثيرا البحث عن عنوان ما عن طريق برنامج **گوگل إيرث** Google Earth، حيث يحصل مستخدم البرنامج على صندوق عرض مماثل لصورة من القمر الصنعي. ويستطيع المشاهد أن يرى مقدارا أكبر من صورة القمر الصنعي عن طريق النقر ببساطة على فأرة الحاسوب وسحبها. ويمكن إجراء الأمر نفسه بواسطة برمجيات أوليڤيا. وإذا أرسل الپاثولوجي فقط أقساما جزئية من ملف كبير، فإنّ الآخرين يستطيعون رؤية الصور المرقمنة للأنسجة عن طريق **خط اشتراك رقمي** (DSL)[(1)] أو وصلة كِبل[(2)] cable رابطة بشبكة الإنترنت.

ومع أنّ التشارُك الإلكتروني سيجعل استشارة الپاثولوجيين لبعضهم بعضا أمرا أكثر سهولة وأسرع، فإنّ هذه الميّزة وحدها لا تجلب قدرات جديدة تماما إلى مهنة الطب. وفي المقابل، يمكن أن يؤدّي تحليل الصورة المحوسَب إلى حدوث تغيير جذري. لقد طوَّرت شركة آپيريو وغيرها من الشركات برمجيات تحليلية، وتعمل حاليا على إنتاج نسخ متقدّمة منها.

في بعض الحالات المعيّنة – مثل تفحّص صور سرطان الثدي- يستطيع الپاثولوجيون حاليا أن ينتقلوا فعلا إلى الحقبة الرقمية. فعلى سبيل المثال، ينتج نحو ربع حالات سرطان الثدي مستويات عالية بشكل شاذ من پروتين يُدعى **مستقبلة عامل النمو البشروي لدى الإنسان**–2[(3)] أواختصارا HER2. ويمكن كشف هذا الپروتين في عيّنات نسيج الثدي بواسطة تلوين الپروتين المذكور بحيث نستطيع رؤيته في الشريحة النسيجية.

كان الپاثولوجيون يقومون تقليديا بفحص تلك الشرائح باحثين عن شدة التلوين وعدد الخلايا التي أخذت اللون. ولكن التقديرات البصرية للمدى الذي يبلغه التلوين (قياس شدّته) يمكن أن تختلف إلى حدّ كبير بين پاثولوجي وآخر. بينما تعطي الرقمَنة -عندما تُجمَع مع برمجيات تقيس الشدة في كل عنصورة- قياسات كمية للشدة، وهذا ما يسمح للتحليلات بأن تصبح أكثر اتساقا وأكثر جدارة بالاعتماد عليها.

حتى الآن، فإن وكالة الغذاء والدواء الأمريكية لم تُرخص تفسير الشرائح

---

(1) digital subscriber line

(2) كبل تعريب لـ cable جمعها كِبال قياسا بحَبل جمعها حِبال.

(3) human epidermal growth factor receptor 2

الرقمية الخاصة بمستويات البروتين HER2 على شاشة مرقاب حاسوبية إلاّ إلى تقانة آبيريو وتقانة **بيو إيماجين** Bio-Imagene في مدينة سانيڤايل بولاية كاليفورنيا. ومع هذا يأمل رؤساء شركات الپاثولوجيا الرقمية بأنّ تراخيص أكثر هي في طور الحصول، وأنّ التقانات المعنية سوف تستمر بالتقدّم والتطوّر. يقول ‹G. كارترايت› [رئيس أومنيكس Omnyx، وهي شركة پاثولوجيا رقمية موجودة في پيسبورگ]: «يمكن أن يريك الحاسوب في المستقبل –وحتى المستقبل غير البعيد جدا– أشياء قد لا تستطيع عيناك أن تراها». وكمثال على ذلك يتخيَّل ‹كارترايت› أن الپاثولوجيين يريدون معرفة كمية ملوِّنات عدة موجودة على الشريحة نفسها. ويشرح الأمر قائلا: «لو كانت هناك خمسة ملوِّنات، وكنتَ تريد أن تحكم على شدّتها بواسطة العين البشرية، حينها يجب عليك ألاّ تفكر في الأمر على الإطلاق، فمن المستحيل عليكَ فعل ذلك. وفي المقابل، يُعتبر شيئا سهلا إلى حدّ ما بالنسبة إلى الحاسوب أن يحلِّل شدة الألوان المختلفة.»

عوائق مستقبلية(*)

يعرض العديد من الشركات برمجيات صالحة للاستخدام في البيئة السريرية، ومع ذلك فإنه من الضروري إغراء الپاثولوجيين أنفسهم بأن يستعملوا هذه المنظومات. وللمساعدة على تحقيق هذا الهدف يركِّز مطوِّرو البرامج على إنتاج «مقصورة خاصة» للپاثولوجيين، حيث تستطيع شاشة المرقاب أن تعرض الشرائح الرقمية لعيّنة ضخمة تمَّ استئصالها بواسطة الجراحة، جنبا إلى جنب مع القصة المرضية للمريض ومع تقارير تلخِّص نتائج الفحوص الأخرى المتنوِّعة.

يقول ‹سونكسن›: «لتحقيق هذا الأمر سوف يلزم عدة سنوات، فأنت تحتاج إلى أن تدمج معلومات الشريحة الرقمية في منظومة المعلومات المختبرية للمستشفى وفي منظومة قسم الأشعة وفي منظومات أخرى أيضا. وسوف تحتاج إلى جميع تلك الوسائل الوسيطة كي تتمكّن من تحقيق التشارُك المطلوب». ويضيف قائلا: «إنّ تلك الوسائل الوسيطة يتمّ تأسيسها بشكل انفرادي واحدة واحدة، وكل وسيلة وسيطة منها يتمّ تصنيعها حسب الطلب.»

وعلى الرغم من التحدّيات فقد استطاعت الپاثولوجيا الرقمية أن تدخل بالفعل إلى الممارسة السريرية، ولكنها تبدأ بذلك عن طريق منافذ مناسبة لها، كما في حالة تقصّي **الواسمات** markers الخاصة بسرطان الثدي. يقول ‹كارترايت›: «يمكن أن يبدأ المستشفى باستعمال الپاثولوجيا الرقمية للتعامُل مع 20 في المئة من العيّنات فيه، ومن ثمَّ يوسِّع نطاق ذلك خلال عدة سنوات من الزمن. فلا أحد سوف يتوقَّف بشكل فجائي وكامل عمّا اعتاد عليه على صعيد استبدال المجاهر التقليدية.»

سوف تؤدي مقاومة التغيير دائما إلى التباطؤ والتلكؤ، وكما يصرِّح ‹هو›: «إنّ الپاثولوجي يشعر بالارتياح وهو يتعامل مع المجهر، فالمجهر أداة تشبه في قيمتها سمّاعة الطبيب أو مشرط الجرّاح. إنه نوع من الامتداد لأنامل أصابعنا، لذلك توجد مقاومة فعلية ضد التخلّي عن المجاهر.»

خطوة إثر خطوة سوف تستمر الپاثولوجيا الرقمية بشقّ طريقها ضمن مجال الپاثولوجيا السريرية، وخلال سيرها في هذا الطريق سوف تمتدّ وتوسع نطاقها داخل حقل الطب الشرعي (العدلي). وسوف يتفاعل الپاثولوجيون مع بعضهم أكثر من قبل، وسوف يحدِّدون المواصفات الكمية أكثر من قبل، كما سوف يطوِّرون بشكل متزايد طرقا موضوعية من أجل تشخيص الأمراض ومن أجل تقييم مدى جودة المعالجات ونجاعتها. ■

(*) Future Fixes

مراجع للاستزادة

Digital Pathology Image Analysis: Opportunities and Challenges. Anant Madabhushi in *Imaging in Medicine,* Vol. 1, No. 1, pages 7–10; October 2009. Available at **www.futuremedicine.com/doi/abs/10.2217/iim.09.9**

Digitizing Pathology. Jeffrey M. Perkel in *Bioscience Technology,* Vol. 34, No. 2, pages 8–12; February 23, 2010. Available at **www.biosciencetechnology.com/Articles/2010/02/Imaging-Digitizing-Pathology**

Scientific American, May 2010

تنظيف الهواء من الكربون(*)

ثمة آلات لامتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الجو تحدّ من زيادة تركيزه، وقد تنقصه فتُخَفِّض من الاحترار العالمي(١).

<K .S. لاكنر>

مفاهيم مفتاحية

- إن الآلات ذات المراشح filters والمحتوية على مواد ماصة sorbent ترتبط بغاز ثاني أكسيد الكربون فتسحبه من الهواء.
- عند تصنيع هذه الآلات على مقياس واسع، يمكن أن تكون تكلفة امتصاص الطن من غاز ثاني أكسيد الكربون 30 دولارا، وهي أقل بكثير من التكلفة التي تبلغ الآن 100 دولار أو أكثر، للتزويد بغاز ثاني أكسيد الكربون على نطاق تجاري.
- باستعمال ماصات مُحسَّنة، يمكن لعشرة ملايين آلة ماصة يتم نشرها عبر الكرة الأرضية أن تخفض تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون بمقدار خمسة أجزاء في المليون (ppm5) كل عام، وهو انخفاض أسرع من ازدياد هذا الغاز في الجو حاليا.

محررو ساينتفيك أمريكان

بلغت نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو حدا لا تجوز زيادته. وتبين جميع المؤشرات أنه لن يتناقض إذ إن تركيزه في الجو سيستمر بالارتفاع لعقود قادمة. وعلى الرغم من الآمال الكبيرة المعقودة على مصادر الطاقة المتجددة، إلا أن الدول المتقدمة والنامية ستستمر بإحراق مزيد من النفط والفحم والغاز الطبيعي في المستقبل.

وفي وسائل النقل مازالت بدائل البترول المستعملة بعيدة المنال. فتخزين الطاقة الكهربائية على متن وسائل النقل الكهربائية صعب؛ فبطارية ذات كتلة معينة تخزن أقل من 1 في المئة فقط من الطاقة التي تعطيها الكتلة نفسها من الگازولين (بنزين السيارات). كما أن حجم المستودع في وسائل النقل المعتمدة على الهدروجين أكبر عشر مرات من حجم مستودع الگازولين، إضافة إلى أن خزان الضغط العالي اللازم لحفظه ثقيل جدا. وقد قامت بعض الطائرات برحلات رائدة استعمل فيها وقود نفاثات مستخرج من الكتلة الحيوية، إلا أنه يُشك في إمكانية إنتاج الوقود الحيوي بكميات تكفي حاجة الطائرات... أو البواخر إضافة إلى ارتفاع تكلفته.

والسؤال الذي يطرح نفسه كيف يمكن الحفاظ على تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون عند حده الذي يبلغ الآن 389 جزءا من المليون؟ فإذا كنا لانستطيع استعمال ضروب الوقود الحاوي على الكربون، فإن أحد الخيارات المتاحة هو سحب غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء. كما يمكن لتوسيع مساحة الغابات في العالم أن يساعد على امتصاص جزء من الغاز، إلا أن البشر ينتجون مقادير هائلة من الغاز بحيث إن المساحة المتاحة للغابات على سطح الكرة الأرضية لا تكفي لامتصاصه. ولحسن الحظ، فإن الآلات المرشِّحة التي يمكن اعتبارها أشجارا صنعية تستطيع امتصاص كميات من غاز الكربون أكبر من الأشجار الطبيعية ذات الحجم نفسه.

وتقوم مجموعات بحث عدة بدراسة نماذج أولية لمثل هذه الآلات، ومنها معهد جورجيا للتقانة، وجامعة كالگاري في ألبرتا بكندا ومعهد التقانة السويسري الفدرالي في مدينة زيوريخ، وفريقا الأبحاث اللذان أشارك فيهما في جامعة كولومبيا ومركز أبحاث التقانات العالمية في توسون بأريزونا. [انظر: «*عمليات متنافسة*» في الصفحة 38]. وجميع نماذج هذه الآلات تعتمد على مبدأ واحد وهو إمرار الهواء من خلال بنية تحوي مادة «**ماصة**» sorbent ترتبط كيميائيا بغاز ثاني أكسيد الكربون، أما غازات النتروجين والأكسجين والعناصر الأخرى فتنطلق في الجو.

يعتمد عمل هذه الآلات على مبدأ واحد وهو امتصاص كميات ضخمة من غاز الكربون الجوي بهدف الحد من تغيُّر المناخ، وليس هذا المفهوم بجديد، إذ إنه استعمل منذ عقود عدة لتنظيف الهواء من غاز ثاني

(*) WASHING CARBON OUT OF THE AIR
(١) global warming



أكســيد الكربون في الغواصــات ومركبات الفضاء وكذلــك لتنظيف الهواء المســتعمل للحصــول على النتروجين الســائل. وهناك العديد من الطرائــق الكيميائية لإتمام عملية التنظيف، إلا أن المــواد الماصة (الماصّات) الصلبــة أفضل مــن غيرها لأنها تســتهلك طاقة أقل للقيام بعملية الامتصاص والغسل، مقارنة بالمواد الماصة الأخرى. وتبيّن النماذج الصغيرة الأولى أن انتشار استعمال الآلات التي تعتمد على الماصات الصلبة على نطاق واسع يمكن أن يؤدي إلى وقف ارتفاع نسبة غاز ثاني أكســيد الكربون في الجو، وحتى إنها يمكن أن تعكس اتجاه ازدياد نسبة هذا الغاز بحيث تتناقص نسبته في الجو.

مُرشِّح كبير واحد(*)

تأتــي الآلات الماصة لغاز ثاني أكســيد الكربون بأشــكال وحجوم مختلفة، كما هو الحال عند نظيراتها من الأشجار. والنماذج الأولية لــلآلات المعروضــة، والتي تجاوزت مرحلة التجــارب المختبرية، يجب أن تمتص الواحدة منها كمية من ثاني أكسيد الكربون تتراوح بين طــن ومئات عدة من الأطنان في اليوم الواحد. ويعطينــا النموذج المطوَّر في جامعة كولومبيا وفي «مركز أبحاث التقانات العالمية» مثالا على كيفية تطبيق هذه التقانة. حيث ترتب ألياف المادة الماصة على شــكل ألواح مســتوية قائمــة، ارتفاعهــا 2.5 متر وعرضهــا متر واحد، وتُشــبه في شــكلها مرشــحات الأفران. وتدور الألــواح القائمة على ســكة دائرية أفقيــة مُركبة فوق **حاوية شحن** shipping container عيارية مقاسها 40 قدما (12.2 متر) [*انظر الشكل في الصفحة المقابلة*]. وتُعرَّض هذه الألواح للهواء وعندما يمتــص اللوح أعظم مــا يمكنه من غاز ثاني أكســيد الكربــون يترك الســكة ويهبط إلى **حجرة التجديــد** regeneration chamber في داخل الحاوية حيث يُفصَل غاز ثاني أكسيد الكربون من المــادة الماصّة ويُضغَط لتحويله إلى ســائل. يُعاد اللوح المجدَّد بعد ذلك إلى السكة من جديد ليعود إلى امتصاص المزيد من غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء.

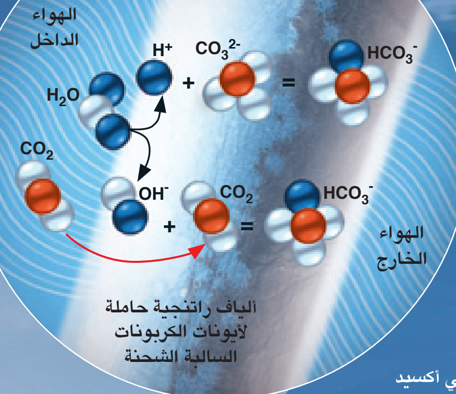
يمكن اســتخدام ثاني أكســيد الكربون الذي تم تجميعه باستخدام آلات جمع الهواء في الصناعة وبجدوى اقتصادية، كما يمكن أن يُنقل بأنابيب تحت الأرض، كما هو الحال في الأنظمــة التجريبية لامتصاص غاز ثاني أكســيد الكربون وتخزينه وفق أنظمة تخزين تستخدم في محطات توليد الكهرباء القائمة على إحراق الفحم. كما أن هناك بديلا مغريا يتمثل باســتعمال غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج كمادة أولية لاصطناع ضروب الوقود

(*) One Big Filter

[تصميم الآلة]

كاروسيل الكربون(*)

في مخطط مركز أبحاث التقانات العالمية يسري الهواء من خلال مراشح filters راتنجية تدور ببطء على سكة بحيث يمتصُّ غاز ثاني أكسيد الكربون. وبعد تشبّع هذه المراشح بالغاز، يقوم مصعد بفكّ المرشح ثم ينزله إلى حاوية الشحن حيث ينتقل إلى إحدى حجرات التجديد الست التي يتم فيها امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من المرشح (*ألواح الترشيح في الأسفل*). وبعد ذلك، يعود المصعدُ فيرفع المرشح النظيف ويعيده إلى مكانه على السكة كي يبدأ بقنص الغاز من الجوّ من جديد.



تقوم المراشح المكوّنة من ألياف مغطاة بأيونات الكربونات السالبة الشحنة (CO_3^{2-}) بقنص غاز ثاني أكسيد الكربون عندما يمر الهواء من خلالها. ذلك أن أيونات الكربونات السالبة الشحنة ترتبط بأيونات الهدروجين (H^+) الآتية من جزيئات الماء (H_2O) المتبقي وينتج من هذا التفاعل أيونات الكربونات الحامضة (HCO_3^-). ترتبط أيونات الهدروكسيد (OH^-) المتبقية من إغلال جزيئات الماء بجزيئات ثاني أكسيد الكربون وتكوّن كربونات حامضة أيضا. ◄



تنظيف المرشح يبدأ بتخلية الهواء من الحجرة ①. بعدئذ يرذّ الماء فتنحل الكربونات الحامضة الموجودة على الألياف متحولة إلى كربونات وثاني أكسيد الكربون ②. يُخلَى غاز ثاني أكسيد الكربون ويُضغط متحولا إلى سائل حيث يخزَّن أو يستعمل في الصناعة ③. يجمع الماء عبر مجرى صرف ④.

(*) CARBON CAROUSEL

السائل التي يمكن استخدامها في وسائل النقل. فباستعمال الكهرباء يمكن نزع ذرة أكسجين من غاز ثاني أكسيد الكربون وتحويله إلى غاز **أول أكسيد الكربون** (CO) وكذلك نزع ذرة أكسجين من الماء H_2O وتحويله إلى هدروجين H_2 ويطلق على المزيج الناتج (H_2+CO) اسم **غاز الاصطناع** synthesis gas، والذي يمكن الحصول عليه صناعيا بطرق أخرى؛ وقد استعمل منذ قرن من الزمن تقريبا في إنتاج ضروب الوقود وضروب البلاستيك. وتقوم شركة ساسول Sasol للطاقة في جنوب إفريقيا منذ سنين طويلة بإنتاج بنزين السيارات الصنعي والديزل بدءا من غاز الاصطناع الناتج من الفحم. وهكذا، فإن امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء بالآلات يمكن أن يمحي مفعول الانبعاثات الناتجة من المَرْكَبات التي تستعمل ضروب الوقود الأحفوري أو إنه في الوقت نفسه يمكن أن يساعد على الاستعاضة عن الوقود الأحفوري بسوائل صنعية لا تحتاج إلى أي من عمليات التعدين أو الحفر للحصول على الفحم أو البترول أو الغاز الطبيعي.

ومما لا شك فيه أن آلات امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون يجب أن تتوفر فيها شروط أخرى إضافة إلى فعلها الكيميائي، كأن تكون عمليَّة، وذات تكلفة مقبولة، واقتصادية طاقيا. فالحجم الصغير لجهاز الامتصاص مُتطلّب رئيسي. ففي اليوم الواحد يمرُّ أكثر من 700 كيلوغرام من غاز ثاني أكسيد الكربون خلال فتحة مساحتها تساوي مساحة باب غرفة، بمستوى أرض الغرفة أو إلى الأعلى، أي إنها معرّضة لسرعة ريح قدرها ستة أمتار في الثانية، وهي سرعة الريح في موقع طاحونة هواء. وهذه الكمية من غاز ثاني أكسيد الكربون تعادل انبعاثه الناتجة من ثلاثة عشر شخصا في الولايات المتحدة خلال الفترة الزمنية نفسها. وقد لا يمر الهواء في الآلة بسرعات كبيرة، كما أن عملية الترشيح قد تُبطئ سرعة الجريان،

خطة عالمية(*)

خطة لتبطيء الارتفاع في درجة حرارة الأرض

10 ملايين

آلة امتصاص توزع على سطح الكرة الأرضية.

10 أطنان

من ثاني أكسيد الكربون تسحبها الآلة الواحدة من الهواء يوميا بعد الأخذ بعين الاعتبار الانبعاثات الناشئة عن مصادر الطاقة التي تحتاج إليها الآلات.

36 كيغاطن

من غاز ثاني أكسيد الكربون يمكن نزعها من الجو سنويا.

5 MMP

خمسة أجزاء في المليون هو مقدار الانخفاض السنوي بتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في جو الأرض، وهو تركيز يبلغ الآن 389 جزءا في المليون.

إضافة إلى أن احتمال الامتصاص الكامل غير وارد، وعلى الرغم من جميع ذلك فإن آلة امتصاص الهواء وجمعه يجب أن تكون صغيرة الحجم.

وعند تقييم التكلفة نجد أنها تتأثر بعاملين رئيسيين أولهما امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء، وثانيهما استرجاع الكربون من المادة الماصّة. فبالمقارنة بطواحين الهواء، أدركتُ منذ البداية أن تكلفة ترشيح الهواء بالمادة الماصة صغيرة. أما تكلفة العملية التالية وهي تحرير غاز ثاني أكسيد الكربون من المادة الماصة فتشكل غالبية التكلفة الإجمالية. ومع ذلك، فإن تنظيف الهواء بديل عملي يفضل تنظيف مداخن ملايين المَرْكَبات؛ لأن حجما كبيرا من غاز ثاني أكسيد الكربون يجب خزنه على متن كل مركبة وإعادته إلى مركز التجميع فيما بعد. (كل كيلوغرام من البنزين يعطي عند احتراقه ثلاثة كيلوغرامات من غاز ثاني أكسيد الكربون). وهذا يعني أن تنظيف الهواء المحيط عملية فضلى.

ماص صلب أو سائل(**)

الماص الجيد، كيميائيا، هو الماص الذي يرتبط بغاز ثاني أكسيد الكربون بشدة ولكنه، في الوقت نفسه، يحرّره بسهولة دون تكلفة كبيرة. يبلغ تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الهواء الجوي نحو 0.04 في المئة، مقارنة بـ10 إلى 15 في المئة في مداخن احتراق الفحم. وقوة الماص المطلوبة تختلف قليلا باختلاف تركيز غاز الكربون، فماصات آلات تنظيف الهواء ستكون بقوة الماصّات المستعملة في تنظيف غازات المداخن.

والماصات نوعان صلبة وسائلة. وتُفَضَّل السائلة منها على الصلبة لسهولة نقلها بين مكان تجميع الغاز ومكان تجديدها. والمهم في العملية هو تأمين السطح الكافي من السائل لامتصاص الغاز من المحيط، الأمر الذي أمكن

(*) PLANETARY PLAN
(**) Wet Sorbent or Dry

مبيع ثاني أكسيد الكربون(*)

إن غاز ثاني أكسيد الكربون الممتص من الهواء يمكن حجزه تحت الأرض أو بيعه للاستعمال كعامل تصنيع أو كمادة أولية في الصناعات الحالية والمستقبلية.

التطبيقات الحالية

- عامل ضغط لدفع النفط في الحقول النفطية ذات مردودية الاسترداد العالية.
- صناعة المشروبات الغازية.
- عامل تجميد لأجنحة الدجاج.

التطبيقات المستقبلية

- مادة أولية لاصطناع بنزين السيارات.
- مادة مغذية في مزارع الفطريات التي تنتج الوقود الحيوي.
- مادة أولية لصناعة الإسمنت الذي أساسه الكربونات.


استرداد النفط

للمهندسين الكيميائيين إيجاد الطرق الكفيلة بتحقيقه. فعلى سبيل المثال، فإن الماص الذي يستعمله <D. كايت> في جامعة كالگاري وكذلك شركة **هندسة الكربون**[1] الجديدة، مكوَّن من سائل هدروكسيد الصوديوم الذي يجري ضمن سطوح بلاستيكية ينفَخ خلالها الهواء بمروحة. إن تحريك السائل عملية سهلة، إلا أن قوة ارتباط غاز الكربون بالهدروكسيد كبيرة لدرجة تجعل إزاحته من الماص صعبة نسبيا.

وتمتاز الماصات الصلبة بإمكانية جعل سطوحها الصلبة خشنة، الأمر الذي يزيد من مواقع ارتباط جزيئات غاز ثاني أكسيد الكربون، ومن ثَمّ زيادة معدل الارتباط. إلاّ أن تحريك الماصات الصلبة من حجرات التجديد وإليها أصعب من تحريك الماصات السائلة. وتعمل مؤسسة تجارية شريكة، تدعى **الثرموستات العالمية**[2] والتي تقوم بأبحاثها في معهد جورجيا للتقانة، على تحرير غاز ثاني أكسيد الكربون من الماصات الصلبة بالتسخين.

يعتمد كل من الماصات الصلبة والسائلة على تفاعل حمض - قاعدة (أساس) المعروف في الكيمياء. فغاز الكربون حمضي، ومعظم الماصات قلوية. ويتفاعل الحمض مع الأساس مكونا ملحا. فعلى سبيل المثال، يتفاعل هدروكسيد الصوديوم، المعروف باسم الصودا الكاوية (وهو ماص قوي) مع غاز ثاني أكسيد الكربون مكونا **كربونات الصوديوم** soda ash (رماد الصودا أو صودا الغسيل). وكربونات الصوديوم قلوية تقوم بامتصاص كمية إضافية من غاز ثاني أكسيد الكربون متحولة إلى **كربونات الصوديوم الحامضة** $NaHCO_3$ (صودا الخبْز)، وهي قلوية أيضا. وتجري تفاعلات كيميائية مشابهة في الماصات الأخرى.

نظريا، يمكن إزاحة غاز ثاني أكسيد الكربون من الكربونات الحامضة متحولة إلى هدروكسيد، أي إن الماص يعود إلى حالته التي استعمل فيها في البدء، وهكذا يمكن إعادة تدوير الماص. ولكن، عمليا، لا تجري عمليات التجديد إلا بشكل جزئي. فإما أن يُنزع جزيء ثاني أكسيد الكربون من الكربونات الحامضة وينتج كربونات أو يُنزع ثاني أكسيد الكربون من الكربونات ويتحول إلى هدروكسيد الصوديوم. وإن التحول من الكربونات الحامضة إلى الكربونات وبالعكس عملية فُضلى لأن الطاقة اللازمة لتحرير غاز ثاني أكسيد الكربون من الماص بعد ارتباطه به تكون أقل.

وهناك أصناف أخرى من الماصّات المبتكرة التي يتم فيها التحول من كربونات إلى كربونات حامضة وبالعكس، ومنها الصنف الذي يدعى **المبادلات الراتنجية الأنيونية** anion exchange resins (السالبة الشحنة) الشبيهة بالبلاستيك، فهذه البوليميرات (اللدائن) الكربوناتية لها تطبيقات متنوعة منها تحضير الماء الخالي

(*) SELLING CO_2
(1) Carbon Engineering
(2) Global Thermostat


مزرعة فطريات


إسمنت

مـــن **الأيونـات** ions. والأيونات الموجبة في هذا الراتنج ثابتة في مكانها، بينما الأيونات الســالبة متحركة أي يمكن الاستعاضة عن الأيون الســـالب بأيون ســـالب آخر بإمرار محلول ســائل فـــي الراتنج. وهكـــذا، فإن مجموعة من الأيونات الســالبة الموجودة في محلول يمكن مبادلتها بأيونات سالبة أخرى بغسل الراتنج بهذا المحلول، وتكون النتيجة إحلال أيونات المحلول السالبة محل الأيون السالب المتحرك في الراتنج.

وقد صنَّع مركز «أبحاث التقانات العالمية» راتنجا كربوناتيا من هذا النوع. فالمرشحات المصنوعــة من هذا الراتنــج الجاف تُعرَّض لرياح مُذخَّــرة بغاز ثاني أكســـيد الكربون إلى درجة تتحول فيها **الكربونات الســالبة الشـحنة** (CO_3^{2-}) الموجودة في الراتنج إلى كربونات حامضة، وبإمرار الماء على الراتنج يتحرَّر ما امتصه الراتنج من ثاني أكســـيد الكربون ويتحول الراتنـــج إلى كربونات من جديد. وعندما يجف الراتنج يبدأ بامتصاص ثاني أكسيد الكربون ثانية.

أمـــا فـــي النظام الـــذي خططنـــاه، فقد استعملنا مرشحا يهبط إلى حجرة التجديد الموجـــودة داخل حاويـــة الشـــحن ويُضَـخُّ الهواء لإطلاقه خارج الحجرة، بينما يضاف المـــاء على هيئة رذاذ ضبابـــي على الأغلب. وبالنتيجـــة، فإن الراتنج المرطـــب يُحرِّر غاز ثانـــي أكســـيد الكربـــون الـــذي يُضَخ إلى الخارج ويضغَط لتحويله إلى ســـائل. ولهذا الضغــط فعل آخر إذ إنه يحـــوِّل بخار الماء المتبقي إلى ماء نقي يســـحب ويستعمل من جديد. أما المرشـــح المنظَّـــف، فإنه يُرفَع إلى الأعلى فوق حجرة التجديد لكي يجف ويعود إلى امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من جديد فوق حاوية الشحن.

تتطلب هـــذه الآلات طاقة فـــي مرحلتين: الأولى مرحلة ضخ الهـــواء إلى خارج غرفة الاسترجاع، والثانية مرحلة ضغط غاز ثاني أكســـيد الكربون الذي يبلغ ضغطه كســـرا بســـيطا من الضغـــط **الجـــوي** atmosphere ليرتفع الى الحد اللازم لتحويله إلى ســـائل (عشـــرات عدة من الضغوط الجوية حســـب درجة الحرارة). والمرحلة الثانية تتطلب طاقة أكبر بكثير مـــن المرحلة الأولى، وفي جهازنا يبلـــغ مجمل ما يلزم مـــن الطاقة لامتصاص كيلوغرام واحد من غاز ثاني أكسيد الكربون نحو 1.1 ميگاجول مـــن الكهرباء. وللمقارنة، فإن كمية غاز ثاني أكســـيد الكربون المنبعثة في الجو من محطات توليد الطاقة لإنتاج 1.1 ميگاجول من الكهربـــاء في الولايات المتحدة تبلغ وسطيا 0.21 كيلوغرام فقط. وهذا يعني أن كميـــة الغـــاز التي تمتصهـــا الآلات أكبر بكثير من الانبعاثات الناتجة من توليد الطاقة اللازمة لعملها.

وتبلـــغ التكلفـــة العملية للطاقـــة اللازمة لامتصاص طن واحد من غاز ثاني أكســـيد الكربـــون نحو 15 دولارا، وهي ليســـت أكبر بكثير من تكلفة غســـل هذا الغاز من مداخن المعامل. وفـــي الوقت الحالي، على أية حال، فـــإن معظـــم التكلفة العائدة إلى نشـــر هذه الوحدات تعود إلى تكلفة تصنيعها وصيانتها، وهي تكلفة ستتناقص تدريجيا نتيجة لازدياد أرقـــام الإنتاج. وأتوقع شـــخصيا أن تكون التكلفة فـــي بداية الأمر بحـــدود 200 دولار لكل طن من غاز ثاني أكسيد الكربون يُنتزع من الهواء، ولكن هذه التكلفة ستهبط بشكل ســـريع بازدياد تصنيع آلات امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء.

[علم المصطلحات الفنية]

الموضوع ليس هندسة جيولوجية(*)

يعتبر البعض أن استخلاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء هو عملية هندسة جيولوجية **geoengineering، إلا أنني لا أتفق معهم في هذا الرأي. فعملية امتصاص الغاز لا تغير الديناميكيات الطبيعية لكوكب الأرض، كما أنها لا تتضمن أية مجازفات بيئية خطرة محتملة، وهو عكس ما عليه الأمر في الهندسة البيولوجية: فرفع** الغلالات الهوائية **aerosols إلى طبقات الجو العليا بهدف امتصاص الأشعة الشمسية سيغير كيمياء الجوّ وكذلك سيعبث بالتوازن الإشعاعي عبر الكرة الأرضية. وكذلك، فإن نشر دقائق الحديد فوق سطح المحيط بهدف تسريع نمو الطحالب التي يمكن أن تمتص غاز ثاني أكسيد الكربون يُغيِّر كيمياء وبيولوجيا المحيطات. وببساطة، فإن امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الجو يسحب الزائد من هذا الغاز الذي يطلقه البشر في جو الأرض.**

(*) Not Geoengineering

عمليات متنافسة(*)

تقوم منظمات مختلفة بإجراء أبحاث على الماصات الجافة والرطبة للوصول إلى صنع آلات امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الهواء على المستوى التجاري. مثال ذلك:

الماصات الجافة

جامعة كولومبيا ومركز «أبحاث التقانات العالمية»:
بوليمير كربوناتي

معهد جورجيا للتقانة وشركة «الثرموستات العالمية»:
بوليمير كربوناتي

الماصات الرطبة

مختبر بروكهاڤن الوطني:
محلول هدروكسيد

جامعة كالكاري و «هندسة الكربون»:
محلول هدروكسيد

بارك زيروكس Xerox PARC
محلول هدروكسيد

معهد التقانة الفدرالي السويسري في زيوريخ:
محلول هدروكسيد، الكلس الحي

معهد پول شيرر:
محلول هدروكسيد، الكلس الحي

المؤلف

Klaus S. Lackner

أستاذ الجيوفيزياء، ورئيس قسم الأرض والهندسة البيئية في جامعة كولومبيا، وهو أيضا عضو في معهد الأرض في الجامعة نفسها. كما شارك <لاكنر> في تأسيس مركز «أبحاث التقانات العالمية»، وهي شركة مولها <G. كومر> لعرض تقانة امتصاص غاز الكربون من الهواء، وكان <كومر> المالك الأخير لشركة Lands' End.



اسْتعمِل ثاني أكسيد الكربون، وقُمْ بتخزينه(**)

ماذا يمكننا أن نفعل بكل هذا الغاز الذي يمكننا جمعه؟ إضافة إلى خزنه، هناك خيارات عدة مطروحة.

فهناك العديد من الصناعات، مثل صناعة المياه الغازية والتي تستخدم ثاني أكسيد الكربون في كربنتها، وتجميد أجنحة الدجاج وصناعة **الثلج الجاف** dry ice. كما يستعمل هذا الغاز لتحفيز نموّ المحاصيل في الزراعات المحمية. ويمكن استعماله أيضا كمذيب غير مُلوِّث، أو كسائل تبريد في البرادات. وهناك قليل من المصادر الصناعية لهذا الغاز، ولذلك فإن العامل الأساسي في السعر هو تكلفة الشحن. ففي الولايات المتحدة الأمريكية يُباع الطن الواحد من غاز ثاني أكسيد الكربون عادة بأكثر من 100 دولار، ولكن هذا السعر يصل إلى 200 أو حتى 300 دولار في المناطق النائية. ويبلغ حجم السوق العالمي للغاز ما يقرب من 30 مليون طن سنويا، يمكن تأمين جزء منه بواسطة آلات الامتصاص التي تحدثنا عنها.

وهناك أسواق ملائمة، كالصناعات الغذائية، يمكن أن توفر مجالا لاستعمال غاز ثاني أكسيد الكربون وبازدياد أعداد آلات الامتصاص المنتجة فإن الأسعار ستنخفض، الأمر الذي سيؤدي بدوره إلى ازدياد حجم سوق مبيعات الغاز. وعندما يهبط سعر طن غاز ثاني أكسيد الكربون الناتج من آلات الامتصاص، إلى ما دون 100 دولار بكثير، فإن استخلاص الغاز يمكن أن يباع **كسندات ائتمان كربون** carbon credit، تماما مثل تلك السندات التي تباع وتُشترى في بورصة لندن للكربون.

ويمكن للأسواق الجديدة في العالم أن تُسرِّع في نموّ تقانة الامتصاص. فمنذ سبعينات القرن الماضي بدأت شركات البترول بشراء غاز ثاني أكسيد الكربون لاستعماله في رفع مردوديّة الآبار(1). فهذا الغاز يُضَخُّ تحت الأرض لاستخراج مزيد من النفط والغاز الطبيعي من الآبار التي بدأ مردودها بالتناقص. فإذا كان الغاز المستعمل لهذا الهدف مصدره تقانة الامتصاص يمكن للشركات النفطية أن تطالب بـ «ائتمان كربوني» مقابل كميات الغاز التي ضُخّت في الآبار وبقيت تحت الأرض. وعمليا، فإن نصف كمية الغاز المضخوخ في هذه الآبار يبقى تحت الأرض بشكل طبيعي. وهكذا، فإن زيادة استرداد الغاز والنفط من آبارها بواسطة ضخ غاز ثاني أكسيد الكربون فيها هي سوق واعدة كبيرة لهذا الغاز. ولكن المشكلة هنا هي أن كثيرا من الآبار تقع على مسافات كبيرة من مصادر غاز ثاني أكسيد الكربون. ولذلك، فإن إقامة وحدات امتصاص هذا الغاز من الجو عند مواقع هذه الآبار يمكن أن تغير ديناميكية العمل في الحقول النفطية.

وعلى أية حال، فإنه ببروز مصادر الطاقة النظيفة، وترويجها على مجال عالمي فإن الجائزة الكبرى لتقانة امتصاص غاز ثاني أكسيد الكربون من الجوّ تتمثل بإنتاج وقود سائل جديد اعتمادا على هذا الغاز كمادة أولية. وكما أشرنا سابقا، فإن هناك تقانات معروفة مثل التحليل الكهربائي والتفاعلات العكوسة لانزياح ماء – غاز، يمكن استخدامها لإنتاج غاز الاصطناع بدءا من غاز ثاني أكسيد الكربون والماء. وهذا بدوره يؤدي إلى اصطناع الوقود. وتتطلب العملية طاقة كهربائية عالية، الأمر الذي يرفع من تكلفتها.

وسيستمر البشر بإطلاق غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو، كما هي عليه الحال الآن إلى أن يصبح استعمال الوقود الاصطناعي اقتصاديا. وقد طُوِّرت تقانات مثل العزل الجيولوجي والعزل المعدني لتخزين غاز ثاني أكسيد الكربون المجمَّع في محطات توليد الكهرباء، ويمكن لآلات الامتصاص أن تعمل على خزن الغاز باستخدام هذه التقانات، وأن تُقام في المواقع ذاتها التي ينبعث منها الغاز.

(*) COMPETING PROCESSES
(**) Use It, Store It
(1) انظر: «*استعصار المزيد من النفط من باطن الأرض*» في هذا العدد.

تبريد عالمي(*)

إلـى أن تصبـح تقانات وسـائل النقل النظيفة أكثر فعالية بكثير، فإن اسـتخلاص الكربون من الهواء يمكن أن يسمح للسيارات والطائـرات والبواخـر بالاسـتمرار بحرق ضروب الوقود السائل مُطلقة غاز ثاني أكسيد الكربون الذي تمتصه أجهزة تجميع مُقامة في أماكن بعيدة جدا. وعبارة «بعيدة جدا» تُعبِّر عن واقع الحـال. فعلى عكس الأوزون وثاني أكسـيد الكبريت، فإن ثاني أكسيد الكربون يبقى في الجو فترة طويلة تتراوح بين العقود والقرون مما يتيح له إمكانية التحرك والانتقال على مدى واسع إلى مسافات بعيدة. وتمتزج مكونـات الهواء الجوي ببعضها بشـكل تام بحيث يكون أمرا شرعيا ومنطقيا أن تُعطى أسـتراليا تعويضا عندما تنتـزع غاز ثاني أكسيد الكربون من جوِّها وهو الغاز الذي نتج أساسـا من انبعاثات هذا الغاز في أمريكا الشـمالية. ويمكن أيضا إزالة كمية معينة من انبعاثات هـذا الغاز قبل أن تنطلق في الجو. فالسـيارة، على سـبيل المثال، تطلق وسطيا خلال مدة اسـتعمالها نحو 100 طن من غاز ثاني أكسيد الكربون. فإذا تم امتصاص هذه الكميـة مـن الغاز من الهواء قبـل أن تخرج السيارة من المصنع أمكن الاستنتاج بأن دورَ هذه السـيارة «**حيادي**» neutral، أي لا تؤدي دورا في تلويث الجو بالكربون.

وتوفر آلات الامتصـاص طريقة أرخص لتنظيف الانبعاثات الناتجة من محطات توليد الكهرباء، وخصوصـا القديمة منها، والتي يصعب تجهيزها بوسائل مناسبة لتنظيفها، وكذلك أيضا المحطات البعيدة عن مستودعات التخزيـن. وفي المسـتقبل، بعـد أن يتوقف ازدياد تركيز غاز ثاني أكسـيد الكربون في الجو باستعمال آلات الامتصاص، فإن هذه الآلات يمكـن أيضا أن تخفض هذا التركيز، أي إنها ستقوم فعلا بامتصاص الانبعاثات القديمة من هذا الغاز.

إضافـة إلـى التكلفة، يـرى ناقدو هذه التقانة المقترحة أن آلات الامتصاص الكثيرة العدد ستستهلك طاقة كبيرة، إضافة إلى أن الألواح فيها مصنوعة من ضروب البلاستيك التـي تصنَّـع بدورها من النفط. والمشـكلة الرئيسية، برأيي، هي انطلاق أطنان عدة من بخار الماء في الجو عندما تُجفَّف المراشـح بعـد امتصاص طـن واحد من غـاز ثاني أكسيد الكربون. ولكن استعمال أعدادٍ كبيرة من آلات الامتصاص سيكون بداية لتصحيح تغير المناخ. وتمتص آلة الامتصاص المتحركة الواحدة ما يقرب من طن واحد من غاز ثاني أكسـيد الكربون في اليوم. فإذا اسـتعملت عشرة ملايين آلة فإنها ستمتص 3.6 گيگاطن سنويا، الأمر الذي سيؤدي إلى خفض تركيز غاز ثاني أكسـيد الكربون بمقدار 0.5 جزء في المليون سنويا. وإذا أمكن، بمرور الوقت، زيـادة ما تمتصه الآلة إلـى 10 أطنان يوميا (وهـذا يتطلب ماصّات أفضل) فسـيصبح الانخفاض السنوي لتركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الجو خمسـة أجزاء في المليون، وهو أعلى من سـرعة ازدياد التركيز العالمي فـي الوقـت الحالي. وقد يبـدو عدد الآلات المقتـرح اسـتعمالها 10 ملايـين كبيرا، إلا أن الإنتاج العالمي السـنوي الآن للسيارات وعربات النقل الخفيفة يبلغ 71 مليونا.

إن تكلفـة امتصاص غاز ثاني أكسـيد الكربـون تبلغ 200 دولار للطـن الواحد في البداية، وهي تكلفة كبيرة. وإذا سـارت هذه التقانـة وفق مسـارات ومنحنيات التصنيع المعيارية فإن هـذه التكلفة يمكن تخفيضها، بالاستمرار بالبحث والتطوير، إلى 30 دولارا للطن الواحد، وهي بشكل رئيسي تكلفة المواد والطاقة. وعند تلك النقطة سيكون المبلغ الذي يجب إضافته إلى سـعر گالون البنزين لقاء امتصـاص الانبعاثات الناتجـة منه هو 25 سـنتا، وهو مبلغ زهيد يمكن أن يدفعه المرء للوقـوف في وجه التغيُّـر المناخي الذي بدأ يضرب كوكبنا الأرضي. ■

(*) Global Cooling

مراجع للاستزادة

Climate Strategy with CO_2 Capture from the Air. David W. Keith et al. in *Climatic Change*, Vol. 74, pages 17–45; January 2006.

Fixing Climate: What Past Climate Changes Reveal about the Current Threat—and How to Counter It. Wallace S. Broecker and Robert Kunzig. Hill and Wang, 2008.

Capture of Carbon Dioxide from Ambient Air. Klaus S. Lackner in *European Physical Journal: Special Topics*, Vol. 176, No. 1; pages 93–106; September 2009.

Scientific American, June 2010

سَحَرةُ الديدان(*)

صَدَق ظن <Ch. داروين> في أن ديدان الأرض التي تبرز هاربة من الاهتزازات الأرضية إنما تفعل ذلك فرارا من الخلدان الجائعة - حتى وإن كانت تفعل ذلك أحيانا هرباً من بشر يتعقبونها.

<K. كاتانيا>

إذا حدث أن كنت تسير على الجانب الأيمن من ولاية فلوريدا عند الفجر وسمعت أصواتا تصدر عن حيوان مفترس مُسْتَخف بين النباتات، فإنك بالتأكيد ستقول في قرارةٍ نفسك إن مصدر الصوت تمساح أمريكي alligator أو دبَّة أُمّ أحد الحيوانات المفترسة المجلوبة من منطقة الأمازون. لا شيء من هذا؛ إنها تصدر عن إنسان «**جامع للديدان**»(1).

إن جامعي الديدان قد أتقنوا اجتذاب الديدان للخروج من جحورها وكأنها مسحورة، فيمكنهم جمعها وبيعها طعوما لصيد الأسماك. فهم، أولا، يغرسون عصا خشبية في التربة، ثم يدلكونها بقطعة فلزية (معدنية) مسطحة، فتنتقل الذَّبْذبات الحادثة عبر الأرض؛ وكردّ فعل لذلك تبرز إلى سطح الأرض مئات الديدان الكبيرة الحجم، في دائرة قد يبلغ قطرها 12 مترا حول العصا المغروسة.

والسؤال هنا: لماذا تندفع الديدان إلى سطح الأرض في وضح النهار معرضة أنفسها لافتراس محتمل من قبل أعدائها، ومن ضمنهم جامعو الطعوم؟ يبدو لنا أن الأجدى لديدان الأرض - وهي طعام مفضل لكثير من الحيوانات - أن تبتعد عميقا في التربة عند إحساسها بالذبذبات. وإلى وقت قريب كان هذا الأمر يُفسر عموما من قبل هواة جمع الطعوم بأن ديدان الأرض تترجم الاهتزازات على أنها تساقط مطر فتسرع في الخروج نحو السطح لتتجنب الغرق في التربة التي تصبح مشبعة بالماء. وعلى أية حال، لاحظ كثير منا، بعد هطول المطر الغزير، ديدان الأرض وهي تزحف على الرصيف، ولكنني شَككْتُ في وجود شيء آخر وراء عملها هذا.

في عام 1800 سمع <Ch. داروين> قصصا مشابهة في أوروبا تحكي عن اهتزازات دفعت ديدان الأرض المحلية إلى الخروج من الأرض؛ وكان هو أيضا يتساءل: لماذا خرجت الديدان من جحورها؟ وقد ارتأى بعض الباحثين أن الديدان تفسر الاهتزازات على أنها خُلد جائع يتعقبها، وأنه لا مفر من الهرب. وقد وجدت دراساتي وتجاربي الحديثة الجواب النهائي المريح عن هذا السؤال، فقد أظهرتُ عام 2008 أن سلوك ديدان الأرض هو فعلا رد فعل لسلوك الخلدان.

إلى داخل الغابة(**)

اعتقد <داروين> أن تفسير الخلد أمر معقول، كما جاء في كتابه الأخير الذي نشره عام 1881 حاملا عنوان «تكوُّن الدُّبال بفعل الديدان مع مراقبة عاداتها»(2)، لكنه عندما حاول إخراج ديدان الأرض إلى السطح عند حدوث الاهتزازات لم يحقق نجاحا كبيرا، فهو لم يذهب بعيدا في التحقق من ذلك السلوك. ولكن <داروين> لم يلتق قط بالزوجين <گاري وأودري ريڤل>.

إن الزوجين ريڤل كانا من القلائل الذين احترفوا جمع الديدان لاتخاذها طعوما لصيد الأسماك، وهما من الذين يكسبون قُوتَهم عن طريق بيعها. ومرة في السنة،

(*) WORM CHARMERS

(**) Into the Forest

(1) worm grunter ولفظة grunting تعني حرفيا هنا «القُباع»، أي صوت الخنزير من حلقه. والمقصود هنا الصوت الذي يحدثه جامعو ديدان الأرض بالطريقة التي يصفها المقال.

(2) *"The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observation of Their Habits"*

مفاهيم مفتاحية

- **إن الاهتزازات الأرضية تجعل بعض سلالات ديدان الأرض تتسابق نحو السطح. وهذه ظاهرة يستثمرها جامعو طعوم الأسماك.**
- **اقترح <Ch. داروين> وآخرون أن ديدان الأرض تترجم هذه الاهتزازات على أنها خلدان تسعى إلى أكلها فتتجنَّبها.**
- **أظهرت التجارب أن <داروين> كان محقا وأن القول المعارض - إن ديدان الأرض تفسر الاهتزازات بسقوط المطر - لم يكن صحيحا.**

محررو ساينتفيك أمريكان

وتحديدا خلال الشهر الرابع، وفي مقاطعة سوپشوپي من ولاية فلوريدا، يمكنك أن تجد هذين الزوجين في مهرجان سنوي يحتفل بالتاريخ المحلي، ويتضمن: الموسيقى وباعة الطعام وقُمصان جامعي الديدان، وتتويج ملكة لجامعي الديدان.

وجمع الديدان مهنة تتوارثها الأجيال في جنوب شرقي الولايات المتحدة، ولكن يبدو أنها بلغت ذروتها، في الستينات والسبعينات من القرن الماضي، في غابة أپالاشيكولا الوطنية، الواقعة خارج مقاطعة سوپشوپي مباشرة. فعندما بدأت هذه الممارسة تجتذب وسائل الإعلام، خشي المسؤولون عن الغابة من احتمال الإفراط في جمع الديدان الكبيرة من النوع **ديلوكارديا** *Diplocardia mississippiensis*، وأصبح جمع الديدان من داخل حدود الغابة يتطلب الآن الحصول على تصريح سنوي.

وتشكل غابة أپالاشيكولا الوطنية المكان الأمثل لاختبار «فرضية الخلد». فديدان هذه المنطقة من الجنس ديلوكارديا لها شهرة أسطورية في استجابتها للاهتزازات. ومن ثم فإنها أبدة أصيلة في المنطقة، أما الكثير من الديدان في أمريكا الشمالية فهي أنواع غازِيَة - أُدخلت من أوروبا. وهذا يعني أن ديدان ديلوكارديا قد تطورت **تطورا مصاحبا** coevolved لتطور المفترسات المحلية، ومن ثم يعكس سلوك تكيفاتها البيئية الحالية.

وقد لجأتُ إلى الاستعانة بالزوجين <ريڤل> لملاحظة استجابة الديدان لعملية الجمع المتبَّعة. فإذ كان <گاري> يدلك العصا وكانت <أودري> تجمع الديدان، كنت أحدد بعناية المكان الذي خرجت منه كل دودة بعلَم صغير. وعندما جُمعت آخر دودة، دهشنا حين نظرنا حولنا ورأينا عدد الأعلام المنتشرة حول <گاري>. فقد برزت الديدان في قُطْرٍ يتجاوز 12 مترا حول موقع <گاري>.

كذلك لاحظت الديدان بعد بروزها، كما استخدمتُ أجهزة مسماع أرضي (**جيوفونات** geophones، وهي أجهزة لتسجيل الاهتزازات الأرضية) لتحديد مدى تردد (تواتر) الذبذبات المتولدة من دَلْك العصا وشدتها في مواضع مختلفة.

وقد برزت الديدان من الأرض سريعا، ولو جاز مرة أن نصف دودة بأنها تجري، لكان هذا هو الوقت المناسب بالذات. وقد كانت حركة الديدان الباكرة تتفق مع عملية هروب من خطر ناشئ عن باطن الأرض، تبعتها حركة متمهلة عندما كانت الديدان تبحث عن مواضع جديدة تحفر فيها على مبعدة بضعة أمتار.

وبعد نحو عشر دقائق من الزحف، بدأت الديدان مهمتها المجهدة في الحفر عائدة إلى التربة، وهو إنجاز قد يستغرق أي وقت بين عشر دقائق وأكثر من ساعة كاملة. والكثرة الغالبة من الديدان تلوذ بجحورها الجديدة سالمة، ولكن بعضها يكون قد وقع فريسة للنمل، وبعضها تكون قد التهمته الثعابين أو العظايا (السحالي) أو الخنافس اللواحم، كما أن القليل منها، الذي يكون قد برز من التربة في طقس حار جاف، يموت ببساطة بفعل الجفاف. فمن الواضح أن البروز من التربة يُودي بحياة عدد من الديدان ويُعَدُّ مَغْرما عليها، ومن ثم يفترض أن سببا قويا قد دفعها دفعا إلى هذا الفعل.

وكي أختبر ارتباط «الدودة والخُلد» بأسلوب مباشر أكثر، كنت في حاجة، قبل أي شيء، إلى التأكد من أن الديدان معرضة فعلا لخطر مصادفة خلد ومواجهته - والخلد في هذه الحالة هو النوع الأمريكي الشرقي المسمى علميا *Scalopus aquaticus*، وهو النوع الوحيد الذي يعيش في هذا الموضع من ولاية فلوريدا. [المكان الذي يسمى محليا «يد المقلاة» لأنه لسان ممتد من الأرض]. وقد اتضح لي الجواب حالَ وصولي إلى غابة أپالاشيكولا الوطنية، فقبل أن أُخرج قدمي من السيارة شاهدت علامات وجود أنفاق الخلدان - وهي حافات مرتفعة من القاذورات - تعترض طرق الغابة غير المعبدة. وبعد تجولي بالسيارة في المنطقة بضعة أيام، لاحظت 39 من أمثال تلك الأنفاق العابرة، بل شاهدت بعض الخلدان



السيدة <A. ريڤل> جامعة طعوم الأسماك.

المؤلف



Kenneth Catania

حاصل على دكتوراه في علم الأعصاب من جامعة كاليفورنيا بسان دييگو، أستاذ مشارك في قسم العلوم البيولوجية بجامعة ڤاندربلت. وهو يركز أبحاثه في الأدمغة وأجهزة الحس في الثدييات «غير المعتادة»، متضمنة الخلدان ذات الأنوف النجمية الشكل، وزبابات الماء، وجرذان الخلد الجرداء. وقد حاز جائزة كاپرانيكا في علم تشريح الأعصاب، وجائزة هريك Herrick في علم سلوك الحيوان العصبي، ومنحة سيرل Searle الدراسية، وزمالة ماك آرثر عام 2006. وهو وزوجته يهويان تصوير الحياة البرية وتسلق الجبال.

مُراقبا إياها وهي تقوم بإصلاح الأجزاء التي هدمتها السيارات وساوتها بسطح الأرض. ومعظم هذه الطرق تجري عليها السيارات يوميا فتجعل تربتها متماسكة قاسية، ومن ثم يتطلب الحفر فيها جهدا كبيرا. ولكن الخلدان تفعل جميع ما تستطيع لتتجنب ظهورها فوق السطح وتعرضها للأخطار. وهكذا تكون الديدان التي تُهرع إلى سطح الأرض آمنة من التعرض لخلد قريب يبحث عن **غذائه**[1].

مفترس في الخفاء(*)

لقد احتجت إلى إيجاد طريقة كمية أكثر تحديدا لمعرفة مدى التداخل بين **مَوْئِلَيْ**[2] الخلد والدودة. وقد لفت <G. ريڤل> نظري إلى أن جامعي الديدان يخلفون وراءهم مواضع غرس أعوادهم في أرجاء الغابة. وهكذا بتحديد مواضع تلك الثقوب وقياس المسافة بين كل منها وأقرب نفق إلى الخلدان، أستطيع أن أكوِّن فكرة جيدة عن العلاقة بين موضع جمع الديدان ونفق الخلدان القريب ومن ثم تحديد مدى التداخل المنشود. وقد تفحصت ثمانية مواضع مختلفة لجمع الديدان، فوجدت أنفاق خلدان حول كل منها، بل إنني وجدت أن متوسط المسافة بين موضع غرس عمود جامع الديدان ونفق خلد لم يكن إلا عشرين مترا فقط، وهي مسافة أقصر كثيرا مما توقعته. وهكذا أسفرت الدراسة عن أن غابة أپالاشيكولا تعجّ بالخلدان.

ولكن، كم دودة تأكلها تلك الخلدان؟ لقد وجدت أن خلدا واحدا اصطدته من غابة أپالاشيكولا الوطنية قد التهم ما يعادل وزن جسمه من ديدان الديپلوكارديا (أي 40 غراما، أو نحو عشرين دودة) كل يوم لمدة أسبوعين. وهكذا يأكل الخلد الواحد، إذا واتته الظروف المناسبة، 15 كيلوغراما من الديدان في السنة، أو ربما نحو 7000 دودة مكتملة الحجم. فمن الواضح إذن، أن لدى الديدان سببا قويا لتجنب الخلدان بأية طريقة ممكنة. حقا، إن هذه النتائج كان لها مغزى عميق بالنسبة إلى أفكار <داروين>، لو أنها كانت معروفة حينذاك.

فإذا كان جامعو الديدان يُحاكون الخلدان، يُفترض أن الخلد يُحدث في أثناء حفره اهتزازات في التربة مماثلة لما يحدثه جامع الديدان. لم يحالفني الحظ في مصادفة خلد شرقي يمارس نشاطه في جمع الغذاء في غابة أپالاشيكولا الوطنية، ولكن هذه الخلدان الشرقية توجد أيضا بالقرب من موضع إقامتي في تنيسي. فمع التحلي ببعض الصبر والاستعانة ببعض الجيوفونات وجهاز حاسوب محمول، تمكنت من تسجيل قدر كبير من عمليات الحفر التي قام بها عدد من الخلدان البرية الباحثة عن الغذاء وتصويرها وهي تخرب التربة. وكانت الاهتزازات التي تحدثها الخلدان - وأساسا عندما كانت تستخدم طرفيها الأماميين القويين في تقطيع شِباك جذور الحشائش - تصل إلى أذني وأنا واقف على مسافة بضعة أمتار. وقد أظهرت التسجيلات ذروة قوة هذه الاهتزازات عند ترددات تتداخل بقدر كبير مع الاهتزازات التي يحدثها جامعو الديدان (بين 80 إلى 200 هيرتز).

السُّرعة الكاملة للديدان(**)

ومع استحضار جميع هذه المشاهدات في ذهني، أقمت ساحات أو أحواضا بعرض متر واحد ملئت بالتربة حيث يمكنني أن ألاحظ التفاعلات المتبادلة بين الخلد والديدان، وأن أصورها بالڤيديو، وأن أحددها تحديدا كميا. ولكن قبل الشروع في إجراء تجاربي، قمت أنا والزوجان <ريڤل> باختبار بسيط. فقد تصادف أن كان لدينا دلو مملوء بالنفايات يحوي عشرات من الديدان، كما أنني كنت قد أمسكت حديثا بخلد. فلم نستطع مقاومة وضع الغريمين معا كي نرى ما سوف يحدث: لقد حفر الخلد متعمقا في النفايات، في حين هرعت الديدان

(*) Undercover Predator

(**) Full Worm Speed

(١) الواقع أن الخلدان ليست مهيأة، تشريحيا ووظيفيا، للحركة فوق سطح الأرض.

(٢) **الموئل** habitat هو البيئة الصغرى لحياة الحيوان في الطبيعة.





جامعو الديدان في جنوب شرقي الولايات المتحدة، مثل <G. ريڤل>، الظاهر في كلتا الصورتين، يسحرون ديدان الأرض من النوع *Diplocardia mississippiensis*، لتخرج من التربة مستخدمين اهتزازات (ذبذبات) يحدثونها بدلك قطعة فلزية على عصا مغروسة في التربة (*في الأسفل*). وقد وضع المؤلف علما صغيرا في كل موضع خرجت منه دودة (*في الأعلى*)، على مسافة 12 مترا عن موضع غرس العصا.

إلى الخروج من التربة في ثوان.

كذلك اتخذت التفاعلات شكلا أكثر درامية في الأحواض المملوءة بالتربة والأكثر اتساعا. فإذ كانت الخلدان تحفر أنفاقها في اتجاهات مختلفة، كانت الديدان تنبثق من التربة في هلع ظاهر. وفي هذا الوضع الأقرب كثيرا إلى الطبيعة، كان من الواضح أن الديدان كانت تفر هاربة من عدوٍّ مفترس مخيف، خارجة من التربة بأقصى سرعتها (الدودية). وفي تجارب أخرى منفصلة أجريناها في أحواض أصغر مزودة بمكبرات صوت، فرت الديدان أيضا بمجرد سماعها صوتا مسجلا لخلد يبحث عن غذائه بتثناه في التربة. وهكذا أظهرت تجاربنا بكل وضوح أن ديدان الديپلوكارديا تحيا في خوف دائم من الخلدان وتفر خارجة إلى سطح التربة عند اقتراب الخلدان منها. ويبدو أيضا أن الديدان في غابة أپالاشيكولا تفعل الشيء نفسه عند سماعها الصوت الذي يحدثه جامع الديدان هناك محاكيا أُمَّ جميع الخلدان.

ولكن، هل طورت الديدان أنفسها كي تفر من التربة عندما تحس تساقط قطرات المطر؟ لقد اختبرت هذا التفسير البديل ببضع تجارب. وكانت أقوى تلك التجارب توصلا مباشرا للإجابة عن هذا التساؤل، هي ببساطة، أن أنتظر هبوب عاصفة رعدية مصحوبة بمطر غزير وألاحظ استجابة الديدان في أحواض مكشوفة. وفي تلك الأحوال، لم تكن تبرز إلى السطح إلا دودتان أو ثلاث، من بين 300 دودة، وذلك بعد نحو نصف ساعة. وتتفق هذه الملاحظة اتفاقا جيدا مع دراسات أخرى سابقة سجلت خروجا بطيئا فوق السطح بعد ساعات كثيرة من البقاء في تربة مشبعة بالماء. فالديدان لا تنطلق فارَّة من جحورها في الدقائق الأولى من هبوب العاصفة، كما هو المتوقع منها لو أن مفتاح استجابتها كان اهتزازات سقوط المطر، أو كما يحدث عند عمليات جمع الديدان أو بحث الخلدان عن غذائها.

ويبدو أن ‹داروين› كان محقا على طول الخط. فجامعو الديدان يستثمرون ما أسماه عالم بيولوجيا التطور ‹R. دوكنز› «تأثير العدو النادر». ففي هذا السيناريو، يقتنص الحيوان المفترس فريسته باستغلال استجابة تكون هي في العادة استراتيجية جيدة. فلما كانت الخلدان تمارس الصيد ليلا ونهارا، طوال السنة، فمن المعقول بالنسبة إلى الدودة أن تفر هاربة إلى السطح عندما تحس باهتزازة من قبيل تلك التي يحدثها الخلد؛ وينتهي الأمر إلى أن تصبح الأفراد السيئة الحظ طُعْما لصيد الأسماك، أو، أحيانا، في جوف حيوان مفترس ماكر آخر. وفي الواقع، سبق لعالم البيولوجيا الهولندي الحائز على جائزة نوبل، ‹N. تنبرگن›، أن لاحظ أن **نوارس الرنكة** herring gulls تخبط الأرض كي تدفع الديدان إلى البروز إلى السطح. ومن ثم، بعد ذلك، وصف ‹J. كاوفمان› [من جامعة فلوريدا] في أواسط ثمانينات القرن العشرين، كيف أن **سلاحف الغابة** wood turtles تخبط الأرض كي تدفع الديدان إلى الخروج لتصبح وجبة عشاء سهلة المنال. وهذان العالمان كلاهما، استنتجا أن تلك الاهتزازات كانت تحاكي ما تحدثه الخلدان. بل إن ‹كاوفمان› [وهو من مواطني فلوريدا] قد اقترح أن سلاحف الغابة كانت تستخدم طريقة «**القُباع**» grunting في صيد الديدان، ولكن هذه الفكرة لم تخضع للتجربة رسميا حتى الآن.

وعندما جمعت أدواتي استعدادا للعودة إلى فلوريدا بعد آخر رحلة ميدانية لي، أهداني الزوجان ‹ريڤل› قطعة حديدية تستخدم في طريقة جمع الديدان، كانت عائلتهما تحتفظ بها عقودا عدة. وكان هذا شرفا عظيما لي. عندما كنت أقود سيارتي مغادرا الغابة، توقفت لأطعم خلدا كنت قد اصطدته صباح ذلك اليوم. فمشيت عائدا إلى الغابة لأجمع للخلد بعض الطعام. وقد قامت قطعة الحديد التي حصلت عليها بما يشبه السحر، فسرعان ما كان بين يدي أكثر مما أحتاج إليه من طعام الخلد. وقد أدركت سخرية الأقدار المريرة لتلك الديدان التعيسة: فقد فرت من محاكاتي لحركة الخلد، كي ينتهي أمرها وجبةَ عشاء لخلد حقيقي. ■



خلد شرقي أمريكا (*Scalopus aquaticus*) طرفاه الأماميان متكيفان تكيفا ممتازا للحفر. ويُحدث الخلد، في أثناء حفر أنفاقه، اهتزازات تنبه ديدان الأرض (من جنس *Diplocardia*) إلى وجوده، فتحاول الديدان الفرار من هذا العدو المفترس بخروجها إلى سطح التربة. ولكن يحدث أحيانا أن مفترسات أخرى - منها جامعو طعوم صيد الأسماك وحيوانات أخرى كسلاحف الغابة ونوارس الرنكة - تحاكي الاهتزازات (الذبذبات) التي تحدثها الخلدان لتخدع الديدان ولتخرج فوق سطح التربة.

مراجع للاستزادة

The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms with Observations on Their Habits. Charles Darwin. D. Appleton & Company, 1882.

The Herring Gull's World: A Study of the Social Behavior of Birds. Nikolaas Tinbergen. Basic Books, 1960.

The Wood Turtle Stomp. John H. Kaufmann in *Natural History,* Vol. 98, No. 8, pages 8–12; August 1989.

Worm Grunting, Fiddling, and Charming—Humans Unknowingly Mimic a Predator to Harvest Bait. Kenneth C. Catania in *PLoS ONE,* Vol. 3, No. 10, 3: e3472; October 14, 2008.

في الوِب

انظر الأفلام في الموقع الإلكتروني
www.ScientificAmerican.com/worm-charmers

Scientific American, March 2010

المكون المفقود في الكرة الأرضية(*)

يشير اكتشاف معدن جديد عالي الكثافة إلى أن وشاح الكرة الأرضية هو مكان مضطرب أكثر ممّا كان يظن العلماء، ويقدم هذا المعدن أدلة جديدة على تاريخ الكرة الأرضية.

<K. هيروس>

وصل أعمق سبر حفره البشر على الإطلاق إلى 12 كيلومترا وكان ذلك في شبه جزيرة كولا الروسية. ومع أننا نمتلك حاليا مركبة فضائية في طريقها إلى الكوكب پلوتو- الذي يبعد ستة بلايين كيلومتر عن الشمس - فما زلنا غير قادرين على إرسال مسبار إلى أعماق الأرض. إذن، من الناحية العملية، فإن مركز هذا الكوكب، الذي يقع على عمق 6380 كيلومترا تحت أقدامنا، هو أبعد كثيرا من حدود مجموعتنا الشمسية. ففي الواقع، تم اكتشاف پلوتو في عام 1930، ولكن لم يتم تعرف وجود **اللب** core الداخلي للأرض إلا منذ ست سنوات باستخدام بيانات زلزالية (سيزمولوجية).

ومع ذلك، فإن علماء الأرض حصلوا على كم هائل من المعرفة عن كوكبنا. إنّ ما نعرفه هو أن بنيته تشبه تقريبا بنية البصلة فهو مؤلف من لب ووشاح وقشرة مشكِّلة طبقات متحدة المركز. يكوّن وشاح الأرض نحو 85% من حجم الأرض، وتقود حركته البطيئة الكوارث الجيولوجية التي تحصل في قشرتها. تتكوّن هذه الطبقة المتوسطة بصورة أساسية من مزيج من السيليكون والحديد والأكسجين والمغنيسيوم، وكل منها يظهر تقريبا بالتركيز نفسه في جميع أنحاء وشاح الأرض، إضافة إلى كميات أقل من العناصر الأخرى. ولكن هذه العناصر تتحد لتشكِّل أنواعا مختلفة من المعادن حسب العمق. وهكذا، فإن وشاح الأرض في حد ذاته ينقسم إلى طبقات متحدة المركز تهيمن فيها معادن مختلفة عند أعماق مختلفة.

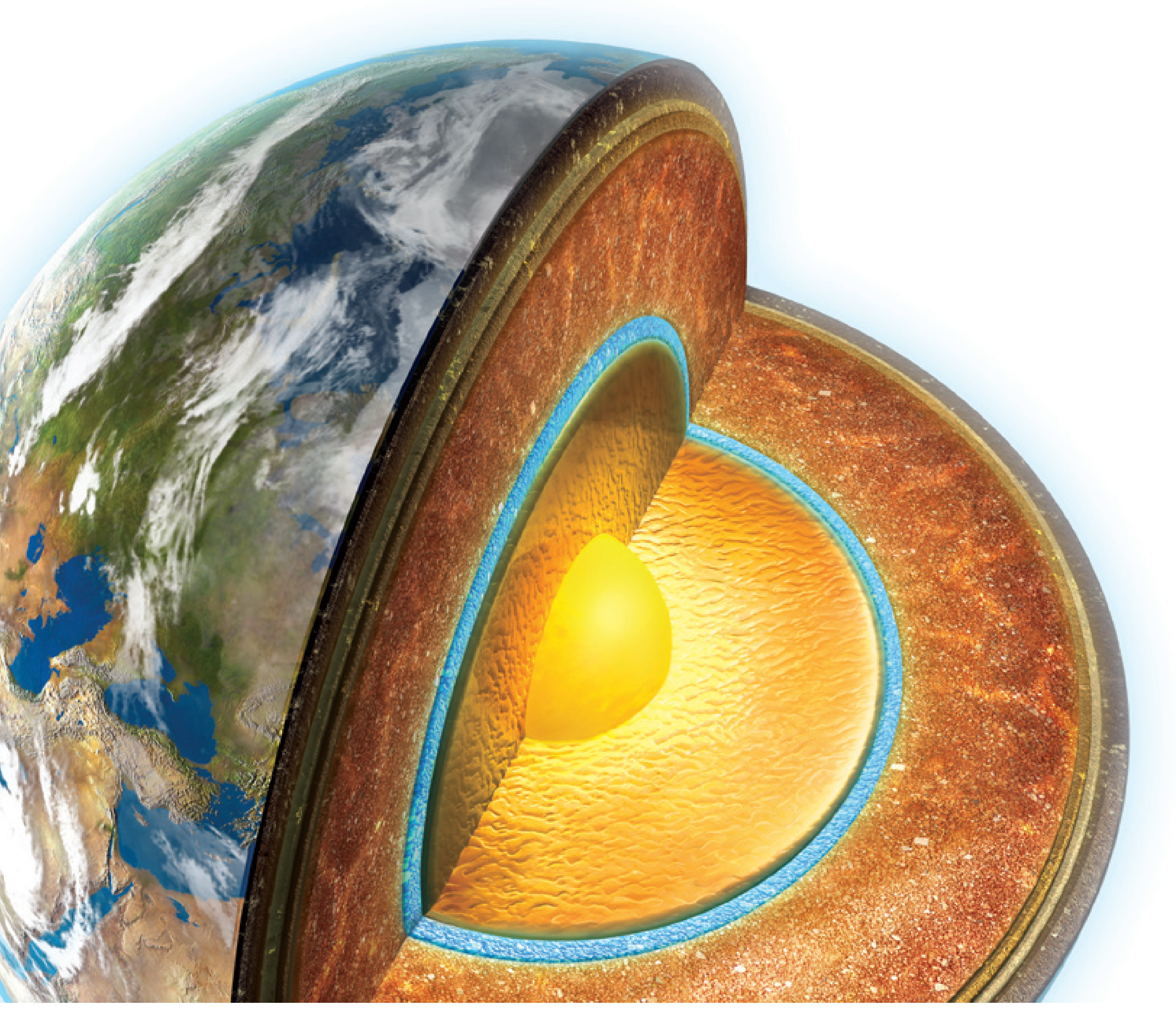
وعلى الرغم من معرفة طبيعة وتكوين معظم هذه الطبقات معرفة جيدة إلى حد ما، منذ عقود من الزمن، فإن الطبقة الأدنى بقيت حتى وقت قريب لغزا محيرا. لكن في عام 2002، مكّن تركيب معدن جديد عالي الكثافة في مختبري، وهو المعدن الذي يتشكل في درجات الحرارة والضغط في الـ300 كيلومتر السفلى من وشاح الأرض، من حلّ اللغز. ومنذ ذلك الحين، كشفت الدراسات أن المعدن المسمى **پوستپيروڤسكايت** postperovskite يؤثّر بصورة مثيرة في **ديناميات** dynamics الكوكب. وقد بيَّن الباحثون أنّ وجوده الواضح في وشاح الأرض يدل ضمنا على أن **تيارات الحمل الحراري**[1] في وشاح الأرض (حيث يغوص الصخر الأكثر برودة ويصعد الصخر الأعلى حرارة حاملا معه جزءا من حرارة الأرض الداخلية) هي أكثر ديناميكية وأكثر كفاءة في حمل الحرارة مما كان يعتقد. فلو لم يكن معدن الپوستپيروڤسكايت موجودا، ربّما كان نمو القارات أبطأ وكانت البراكين أهدأ. وتشكيل الپوستپيروڤسكايت ربما سرّع تقوية الحقل المغنطيسي الأرضي،

(*) THE EARTH'S MISSING INGREDIENT
(١) convection currents

مفاهيم مفتاحية

- في الضغوط العالية، يخضع المعدن الأكثر شيوعا في وشاح الكرة الأرضية الأسفل لعملية تغيُّر بنيوي، ويصبح أكثر كثافة.
- يدل وجود هذا الطور الأعلى كثافة على أن وشاح الأرض هو أكثر دينامية وينقل الحرارة بكفاءة أكبر مما كان يعتقد سابقا.
- يساعد انتقال الحرارة الأسرع على تفسير لماذا نمت القارات بالسرعة التي نمت بها، كما يساعد على تفسير كيف تطوّر الحقل المغنطيسي للأرض بطريقة مكنت الحياة من الانتقال إلى الأرض اليابسة.

محررو ساينتفيك أمريكان



الأمـــر الذي جعل الحياة ممكنة على الأرض اليابســـة من خلال توفيـــر الحماية لها من الأشـــعة الكونية والرياح الشمسية. وبعبارة أخـــرى، كان معـــدن اليوستيپيروڤســـكايت عنصرا رئيسيا مفقودا لفهم تطور كوكبنا.

صخور الأعماق(*)

يقوم الجيوفيزيائيون بمسح بنية الأرض عن طريق قياس الموجات الزلزالية (الســـيزمية). فإثر وقوع أحـــد الزلازل، ونظرا لأن الموجات تنتقل عبر الكوكب بأكمله، تســـتطيع الأجهزة الحساســـة التقاطها على الجانب الآخر من العالم. وعندما تعبر هذه الموجات الحدود بين مواد مختلفة، يمكن أن تنكسر أو تنعكس. لقد أظهرت القياســـات العالمية لمثل هذه الظاهرة أن وشـــاح الأرض يتألف من خمس طبقات، يتميّز كل حد من حـــدود هذه الطبقات بقفزة في ســـرعة الموجات. وقد ربط الباحثون هذه القفـــزات بتغييرات في بنيـــة الصخور التي تعزى إلى الضغوط ودرجات الحرارة المهيمنة كلما تعمقنا في باطن الأرض.

يتألّف الصخر من معادن مختلفة. والمعدن

(*) Rock Bottom

كوكب أكثر تعقيدا(*)

تشبه بنية الكرة الأرضية بنية البصلة، مع مواد مختلفة تظهر في كل طبقة من الطبقات المتحدة المركز. إنّ اكتشاف مادة جديدة عالية الكثافة، أطلق عليها اسم «پوستپيروڤسكايت» postperovskite، يدل ضمنا على وجود طبقة جديدة في تلك «البصلة» ويفسر سلوك الموجات الزلزالية المحيّر والتي تنتقل عبر الكوكب.

القشرة (6 - 35 كيلومترا)

العمق (كيلومتر)

410
520
660
2600
2900
5100
6400

الأوليڤين
الإسپينل المعدل
الإسپينل
الوشاح الأعلى
وشاح الأرض
الوشاح الأسفل
الپيروڤسكايت
الپوستپيروڤسكايت
اللب الخارجي
لب الأرض
اللب الداخلي

قشرة الكرة الأرضية (حتى عمق 35 كيلومترا)

تتكون القارات، والتي تكون مغمورة جزئيا بالمحيطات، من صخور متنوعة خفيفة الوزن نسبيا يصل عمرها إلى بلايين عدة من السنين. وهكذا، فإنها تطفو على وشاح يقع تحتها، أكثف منها. تنشأ الصخور البازلتية الثقيلة، والتي تشكل الجزء الأكبر من قشرة المحيطات من صخور الوشاح المنصهرة التي تندفع تحت الماء من ضهرات ridges وسط المحيطات وتنغرز ثانية، في نهاية المطاف، في وشاح الأرض، خلال 100 مليون سنة.

وشاح الأرض

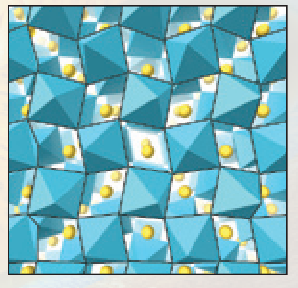
تتألّف صخور الوشاح أساسا من الأكسجين والسيليكون والمغنيسيوم. وعلى الرغم من كونها صلبة في الغالب، فإنها تتشوه على مر الأزمنة الجيولوجية. وفي الواقع، تتدفق هذه الصخور ببطء عندما تحرّك تيارات الحمل الحراري وشاح الأرض بأكمله. يُبدِّد ذلك التدفق حرارة الأرض الداخلية ويدفع انسياق القارات.

الوشاح الأعلى (من 35 - 660 كيلومترا)

بما أن الأعماق المتعاظمة تجلب ضغوطا ودرجات حرارة أعلى، فإنّ العناصر في مكونات الوشاح تترتب في بنى مختلفة متبلورة (معادن)، مشكلة طبقات. وهناك ثلاثة معادن تعطي طبقات الوشاح الأعلى أسماءها الخاصة بكل منها وهي الأوليڤين (الزبرجد الزيتوني) **olivine**، الإسپينل المعدّل **modified spinel** الإسپينل **spinel**.

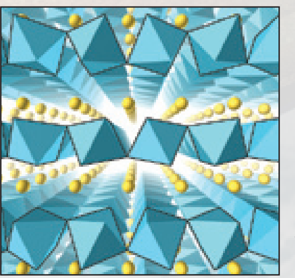
الوشاح الأسفل (660 - 2900 كيلومتر)

كان يعتقد لعقود من الزمان أنّ بنية الوشاح الأسفل متجانسة نسبيا. ولكن البيانات الزلزالية (السيزمولوجية) تبيّن حدوث شيء ما غير عادي في الجزء الأسفل منه.



• **طبقة الپيروڤسكايت(**)**

المعدن الأكثر انتشارا هنا (70 في المئة من حيث الوزن) هو سيليكات المغنيسيوم ($MgSiO_3$) الذي ينتمي إلى فصيلة من البنى المتبلورة دعيت فصيلة الپيروڤسكايتات perovskites. وفي هذه البنية المدمجة بكثافة، تحاط شوارد (أيونات) ions المغنيسيوم (*باللون الأصفر*) بمجموعات السيليكون – الأكسجين مثمنة الوجوه (الأشكال الزرق المضاعفة الهرم). وحتى وقت قريب، اعتقد العلماء أنه لا يوجد ترتيب متبلور أكثر كثافة من هذه العناصر.



• **طبقة الپوستپيروڤسكايت**

في الضغوط ودرجات الحرارة في الـ 300 كيلومتر السفلى من الوشاح، يتحول الپيروڤسكايت perovskite إلى بنية جديدة: تترتب شوارد المغنيسيوم ومجموعات السيليكون – الأكسجين في طبقات منفصلة. يحرّر التحول حرارة ويقلل الحجم بنحو 1.5 في المئة – فرق صغير، ولكن له تأثيرات مثيرة في الكوكب بكامله (*انظر الأشكال في الصفحات 52 و 53*).

لب الأرض (2900 - 6400 كم)

يتألّف الجزء الأعمق من الأرض في الغالب من الحديد، وهو سائل في اللب الخارجي وصلب في اللب الداخلي. تحرك تيارات الحمل الحراري اللب الخارجي تماما مثلما يحرّك وشاح الأرض، ولكن نظرا لكون اللب أكثر كثافة، فإنّ قليلا من الخلط يحدث بين وشاح الأرض ولبّها. ويعتقد أن الحمل الحراري في اللب هو الذي يُحدث حقل الكوكب المغنطيسي.

(*) A More Complex Planet
(**) Perovskite Layer

هو ترتيب من الذرات في نمط هندسي خاص، أو بلورة، ومن ثم يتميّز بتركيب خاص وبخصائص فيزيائية وحتى بلون خاص – انظر إلى الأنماط المختلفة من الحبيبات في مناضد المطبخ الگرانيتية العادية. وتحت عتبات محددة من الأعماق في وشاح الأرض تدفع الضغوط ودرجات الحرارة الهائلة العناصر إلى إعادة ترتيب ذراتها في بنى بلورية جديدة. وكما يقول علماء الفيزياء، تخضع المواد لتبدل في الطور.

ونظرا لفقدان القدرة على سبر أعماق الأرض، كان على الجيولوجيين الأوائل الذين كانوا يرغبون في دراسة هذه البنى، البحث عن صخور وشاح الأرض التي تحمل إلى السطح عن طريق **المهول** magmas أو الصخور المنصهرة العميقة المنشأ. هذه الصخور كثيرا ما تتضمّن بلورات ألماس. وبما أن الألماس يتشكل تحت ضغوط ودرجات حرارة عالية نجدها على عمق 150 كيلومترا أو أكثر، يمكن الافتراض أن الصخور المضيفة لها قد نشأت في عمق مماثل؛ وهي بذلك تزودنا بثروة من المعلومات حول الجزء الأعلى من الوشاح. ولكنّ صخور الوشاح أو معادنه المتشكلة في أعماق تزيد على 200 كيلومتر نادرا ما تصل إلى السطح.

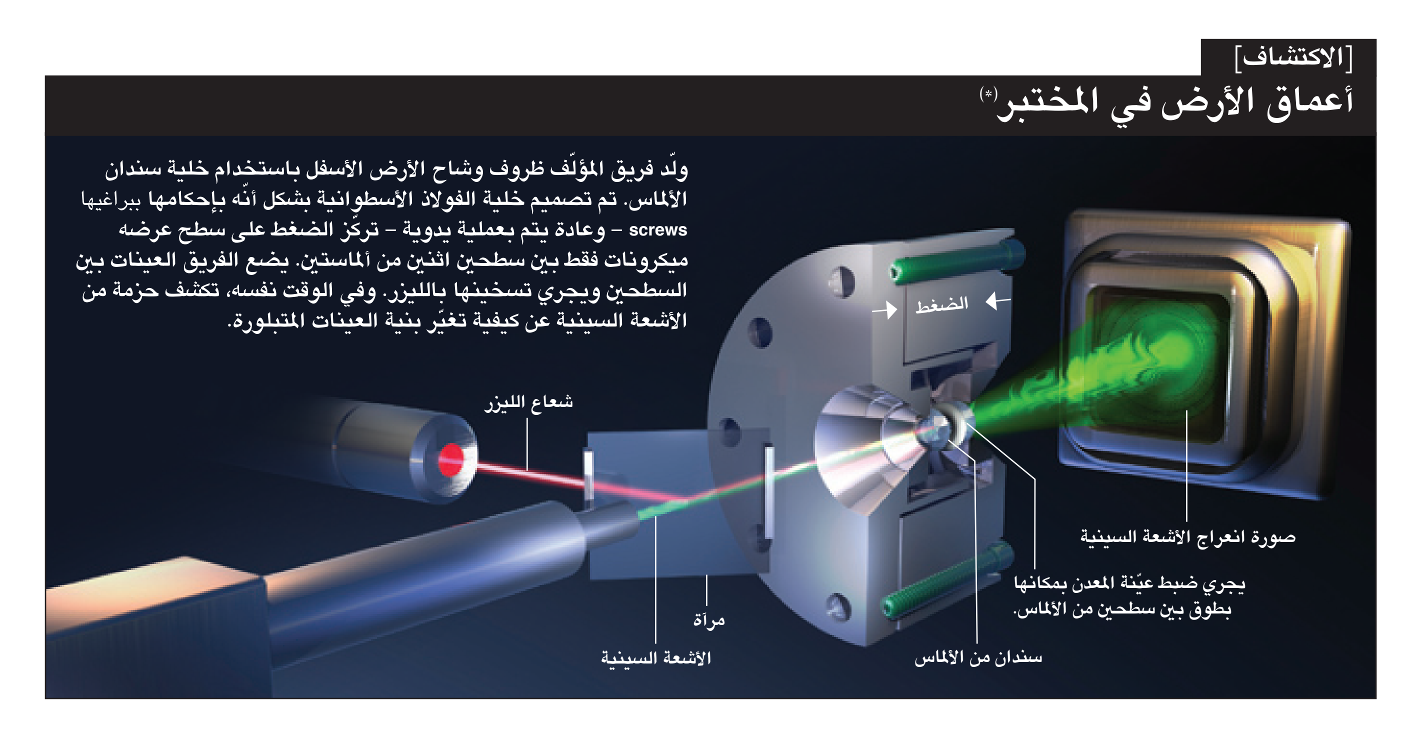
وحالما توصّل الباحثون إلى توليد ضغوط ودرجات حرارة عالية في المختبر، أصبحوا قادرين على تركيب المعادن التي يعتقد أنّها تكوّن المستويات السفلى من وشاح الأرض. والمعادن المهيمنة في الصخر تُعطي طبقات وشاح الأرض أسماءها: فالوشاح الأعلى يشمل طبقات **الأوليڤين** olivine (الزبرجد الزيتوني) **والإسپينل** spinel المعدل والإسپينل. وعلى عمق 660 كيلومترا، يصبح سيليكات المغنيسيوم ($MgSiO_3$) المكوّن الرئيسي للصخر. وهي تنتمي إلى فصيلة من البلورات تدعى **الپيروڤسكيتات** perovskites، وهي مؤلفة من **شوارد (أيونات)** ions الأكسجين السالبة الشحنة ونوعين من شوارد موجبة الشحنة – في هذه الحالة المغنيسيوم والسيليكون – مرتبطة ببعضها **بتجاذب كهراكدي** electrostatic attraction. ويمكن أن يكون لفصيلة **الپيروڤسكيتات** مجموعة واسعة من التركيبات الكيميائية وتتضمّن **موصلات فائقة** superconductors فضلا عن مواد تستخدم على نطاق واسع في مجال الإلكترونيات، على سبيل المثال، في **المحفزات الكهرضغطية** piezoelectric actuators أو في **المكثفات** capacitors.

تم تركيب پيروڤسكايت سيليكات المغنيسيوم لأول مرة في عام 1974 تحت ضغط 30 گيگاپاسكال gigapascals. (الگيگاپاسكال، وحدة ضغط تساوي بليون پاسكال، وهو يعادل نحو 10 000 ضغط جوي عند مستوى سطح البحر). وفي السنوات الـ30 التالية أجمع الخبراء على أن هذا المعدن يجب أن يكون موجودا على طول المسافة وصولا إلى السطح السفلي لوشاح الأرض، الذي يقع على عمق 2890 كيلومترا، دون أن يتعرّض لمرحلة انتقالية أخرى.

بيد أنه في الستينات من القرن الماضي، اكتُشف شذوذ زلزالي على عمق 2600 كيلومتر. فتم تقسيم الجزء الأسفل من الوشاح، الذي كان يدعى الطبقة D (D–layer)، إلى طبقتين فرعيتين `D و "D (D فتحة و D فتحتين)، تحتل المنطقة "D مسافة الـ 300 كيلومتر الدنيا أو نحو ذلك من وشاح الأرض. وفي عام 1983 وجِد أن الشذوذ هو انقطاع فعلي، ولكنه عُزِيَ إلى تغيير في الغزارة النسبية للعناصر، وليس

[الاكتشاف]

أعماق الأرض في المختبر(*)



ولّد فريق المؤلّف ظروف وشاح الأرض الأسفل باستخدام خلية سندان الألماس. تم تصميم خلية الفولاذ الأسطوانية بشكل أنّه بإحكامها ببراغيها screws – وعادة يتم بعملية يدوية – تركّز الضغط على سطح عرضه ميكرونات فقط بين سطحين اثنين من الماستين. يضع الفريق العينات بين السطحين ويجري تسخينها بالليزر. وفي الوقت نفسه، تكشف حزمة من الأشعة السينية عن كيفية تغيّر بنية العينات المتبلورة.

إلى حدود انتقال من طور إلى آخر. وجاء هذا الافتراض لأن البيروفسكايت، هو، ولو جزئيا، بنية متبلورة «مثالية» تترتّب فيها الذرات في هندسة مدمجة بإحكام تبدو أنها تزيد الكتلة إلى حدها الأعلى لكل وحدة حجم. شكّك بعض الخبراء في أن البيروفسكايت يمكن أن يكون منضغطا في بنية أشد دمجا. ومن ناحية أخرى، إنّ التغييرات في مدى توافر العنصر كانت أيضا إشكالية، لأن الحمل الحراري يجب أن يحرك الوشاح الأسفل نحو الأعلى ويخلط محتوياته مع تلك في الطبقات التي تعلوه، مما يؤدي إلى تجانس في أنواع ونسب العناصر.

ولتوضيح هذا الوضع، ستحتاج التجارب إلى رفع الضغط إلى ما فوق 120 گيگاپاسكال ورفع درجة الحرارة إلى ما فوق 2500 درجة كلفن. لقد اهتممتُ في هذه المشكلة في منتصف التسعينات من القرن الماضي، وبدأت في وقت لاحق بإجراء تجارب باستخدام جهاز خاص يدعى **خلية سندان الألماس** diamond-anvil cell، حيث تضغط عينات من مواد شبيهة بمواد الوشاح إلى ضغط عال بين ألماستين طبيعيتين بجودة الأحجار الكريمة (حيث يبلغ حجمهما نحو 10/2 قيراط)، ثم تسخينها بالليزر. وفوق ضغط قدره 80 گيگاپاسكال، يبدأ حتى الألماس الذي هو أقسى مادة معروفة بالتشوه بشكل مثير. ولرفع الضغط أكثر من ذلك، يحتاج المرء إلى جعل شكل أطراف سندان الألماس أقرب ما يكون إلى الكمال بحيث لا يؤدي إلى انكسار الألماس. لقد عانيت مع زملائي عمليات تكسير متعددة للألماس، التي كلفتنا أموالا إضافة إلى اعتمادات بحثنا المالية، وفي بعض الأحيان حماسنا أيضا. وأخيرا، وباستخدام سندانات مشطوفة الحافة، تجاوزنا سقف ضغط قدره 120 گيگاپاسكال في عام 2001. لقد كان مختبرنا أحد المختبرات الأوائل في العالم للقيام بذلك، وأول الدارسين لتأثيرات مثل هذه الضغوط في **البيروڤسكايت** perovskite.

واضح وضوح الشمس(**)

ولفهم ما كان يجري داخل عيناتنا، أجرينا تجربتنا في سپرينك-8 «SPring-8» وهي منشأة سنكروترون للأشعة السينية الأكبر في العالم، وتقع في منطقة جبلية في غرب اليابان. ومنذ ما يقرب من قرن من الزمن فك العلماء **تكويد** decoded بنية البلورات من

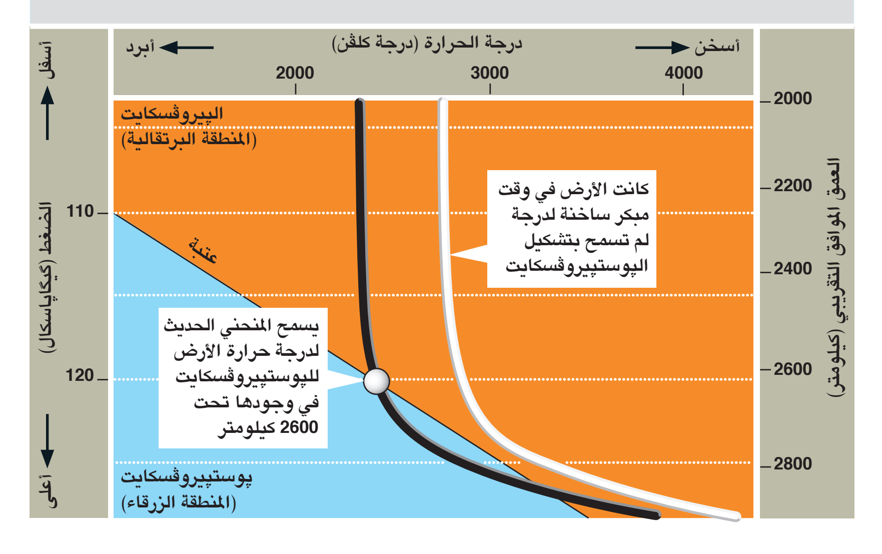
(*) DEEP EARTH IN THE LAB
(**) Crystal Clear

خلال النظر في كيفية انعراج الأشـــعة السينية عبرها (اســـتنادا إلى حقيقة أن المســـافات **بـين ذرات** interatomic البلـــورات - تكـــون مســـاوية لأطوال موجات الأشعة السينية). وقد مكنتنا حزم أشـــعة سبرينك-8 السينية المتميّزة بشـــدتها ودقتها المتناهية من التقاط صـــور ذات جـــودة عالية في فتـــرات مدتها ثانية واحدة فقط، وهو أمر مفيد جدا لرصد التغير في بنية البلورة في مثل هذه الظروف القاسية أو الحدية.

ففي شـــتاء عـــام 2002 وفي ســـبرينك-8، جاءني أحد طلبتي (<M. موراكامي>)، وأعلمني أن نمط الانعراج في بيروفســـكايت سيليكات المغنيسيوم قد تغير تغيرا جذريا عندما سُخن عند درجة ضغط 125 گيگاپاسكال. وتشير مثل هذه الملاحظـــة عادة إلى تغيير حصل في بنية البلورة، وهذا بالضبط ما كنت أبحث عنه. إذا كان هذا صحيحا، فإنّ هذا الاكتشاف سيكون الأكثر أهمية في علم معادن الضغط العالي - وربمـــا في جميع علوم أعمـــاق الأرض - منذ عـــام 1974، عندما تم تركيب البيروفســـكايت السيليكاتي نفسه لأول مرة.

ومع ذلك، لم نأخذ في البداية هذه البيانات على محمل الجـــد، لأن أنماط الانعراج يمكن أن تتغير لأي سبب من الأسباب. فعلى سبيل المثال، يمكـــن أن تتفاعل العينات كيميائيا مع المواد التي يمسك بها على السندان - الغضار (الطين) على نحو نموذجي - مفضيا ذلك إلى تغيير جـــذري في بيانات الانعـــراج. وعندما أخبرت زملائـــي المقربين عن هـــذه الملاحظة الجديـــدة بعـــد عدة أيـــام، كانـــت أول ردات أفعالهم، في الواقع، سلبية. فقد أخبرني أحد المتخصصـــين بعلم البلورات أنـــه لا بد وأنّي قـــد ارتكبت شـــيئا خاطئا: فقد بـــيّن أن بنية البيروفسكايت هي بنية مثالية، مدمجة بإحكام ولم يلاحظ مطلقا من قبل تحوّل في الطور من البيروفسكايت إلى بنية أكثر كثافة.

وقد كررنا هذه التجـــارب مرات عديدة. وعلى نحو مشـــجّع لاحظنـــا النمط الجديد



إنّ البيانات التجريبية والتي تُظهر درجات الحرارة والضغوط التي يتحول عندها البيروفسكايت إلى اليوستبيروفسكايت (خط العتبة) تشير إلى أن مدى درجات الحرارة (*المنحنى الأسود اللون*) في الأرض الحالية هو صحيح تماما لوجود اليوستبيروفسكايت في الجزء الأسفل من الوشاح، على عمق نحو 2600 إلى 2900 كيلومتر. وفي المقابل، كانت الأرض في وقت مبكر (*المنحنى الأبيض اللون*) ساخنة جدا لدرجة لم تسمح بتشكيل اليوستبيروفسكايت.

مـــن الانعراج في كل مرة. ووجدنا أيضا أنه عندما كنـــا نعيد تســـخين العينة في ضغط جـــوي منخفض يعـــود النمـــط الجديد إلى التغير مرة أخرى إلى نمط البيروفســـكايت. وهكذا، فـــإن الانتقال كان قابلا لأن يعكس، وهذا ما يســـتبعد حـــدوث تغيير في تركيب العينـــة الكيميائي. في تلك المرحلة، أصبحتُ على قناعـــة بأننا قد حوّلنا البيروفســـكايت سيليكات المغنيسيوم إلى بنية جديدة.

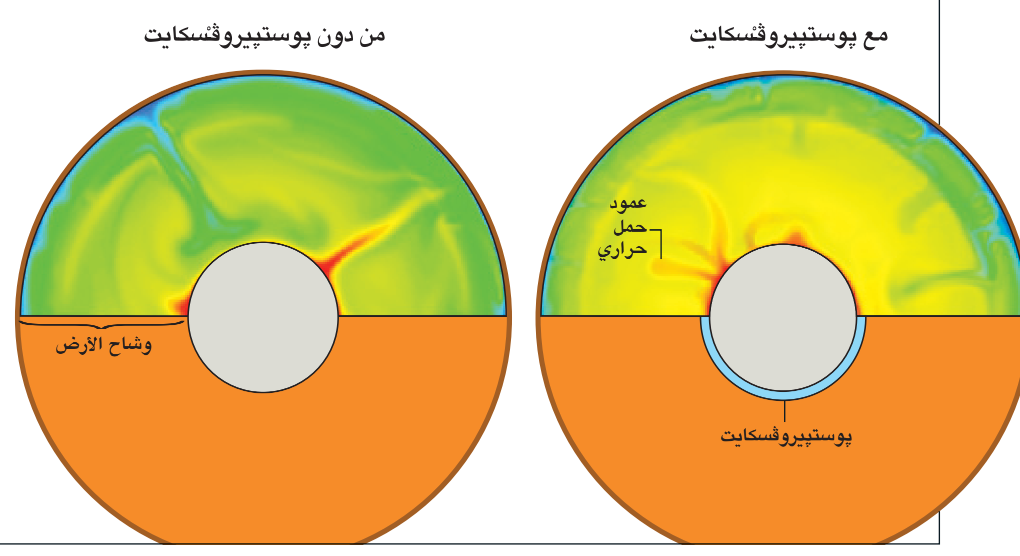
وبعـــد ذلك، وجدنا أنه عنـــد درجة حرارة 2500 درجـــة كلفن، يحدث الانتقال عند درجة ضغط 120 (بدلا من 125) گيگاپاسكال، وعلى وجه التحديد عنـــد الضغط الموافق إلى 2600 كيلومتر من العمق، حيث تم العثور على قفزة الانقطا ع الغريبة في ســـرعة الموجة السيزمية (الزلزاليـــة). لقد أدركت أنـــه قد تم الآن حل اللغز القـــديم : فقد اكتشـــفنا مرحلة انتقال جديدة، ومواد جديـــدة يجب أن تكون مهيمنة في الطبقـــة D``. وإضافة إلى ذلك، توقعت أنّه لا بـــد وأن يكون لخاصيـــات المرحلة الجديدة دلالات مهمة حول ديناميات وشاح الأرض.

ولكـــن قبل مواصلة عملنـــا، احتجنا أولا إلى تحديـــد البنية البلورية للمرحلة الجديدة،

لقد شكك الخبراء في إمكانية انضغاط معدن وشاح الأرض إلى بنية متبلورة مهما بلغت شدة إحكام دمجها.

[عمليات محاكاة حاسوبية]

الحمل الحراري على المنشطات(*)



أظهرت عمليات المحاكاة أنّه بوجود اليوستپيروڤسكايت، يكون الحمل الحراري أسرع وأكثر شواشية[1] *(في اليمين)* مما لو احتوى وشاح الأرض على معدن البيروڤسكايت فقط *(في اليسار)*، كما حصل في الأرض في وقت مبكر. ترتفع أعمدة الحمل الحراري فوق اللب، تماما مثل تشكّل أعمدة الهواء فوق الأرض الساخنة. عندما يصعد العمود، يصادف محتواه من اليوستپيروڤسكايت ضغوطا، أكثر انخفاضا، الأمر الذي يحوله إلى معدن البيروڤسكايت الأقل كثافة. والتمديد الناتج يؤدي إلى طفو عمود الحمل الحراري، وهذا ما يسبب رفعه إلى الأعلى بصورة أسرع وأكثر شواشية مما لو كان الوشاح يحتوي فقط على معدن البيروڤسكايت.

وهــذا التحديــد كان نوعا مــن التحدّي لأنه فــي ذلك الوقت لم يُعرف تحــوّل بلورات من نمط البيروڤسكايت إلى بلورات أخرى تحت الضغط. لقد تصفحنا لأكثر من عام كتالوگات علم البلورات محاولين مطابقة بيانات الانعراج التي بحوزتنا مع أنماط معروفة – وكان ذلك كالتفتيــش عن إبرة في كومــة قش، آخذين بالحســبان أنّ هناك عشرات الآلاف من مثل هــذه البنى البلوريــة. وإضافة إلى ذلك وفي نهاية عام 2003، خــلال عطلة العام الجديد، قام زميلــي الكيميائي <K.> كاواموراء بإجراء عملية محاكاة حاســوبية لذرات المغنيسيوم والسيليكون والأكســجين تحت ضغط عال. بدأ بذرات موزعة عشوائيا عند درجة حرارة عالية جــدا، وعندما برّد عينته الحاســوبية (الوهمية) بــدأ الخليط بالتبلــور، وبعد ذلك حدّد أنماط الانعــراج التي يمكن أن تنتجها بنية بلوريــة، وكانت النتيجــة مطابقة تماما للنمط الذي كنا قد لاحظناه تجريبيا.

قررنا أن نســمي المرحلة الجديدة باســم پوستپيروڤسكايت (بالمعنى الدقيق للكلمة، فإن هذا الاسم ليس بمعدن، لأنه لم يعثر عليه بعد في الطبيعة.) وكما تبين، فإن بنيته هي مطابقة أساســا لبنية بلورتين من البلورات المعروفة، بلورة كبريت الحديــد و**اليورانيوم** (UFeS3) و**إيريديــات** iridiate **الكالســيوم** (CaIrO3)، التي تكون مستقرة في ظل الظروف المحيطة. لقد أظهرت لنا القياســات المباشرة أن كثافة اليوستپيروڤســكايت هي أعلى في الواقع من كثافة البيروڤسكايت من 1 إلى 1.5 في المئة.

انطلاق الحرارة(**)

منذ أن أعلنا النتائج التي توصلنا إليها في عــام 2004، قام الباحثــون في مجالات مختلفة اعتمادا على هــذه النتائج بصياغة صورة جديــدة مثيــرة للعمليــات المختلفة الكثيرة داخل الأرض. وبادئ ذي بدء، يلقي اكتشافنا الضوء على كمية الحرارة المتدفقة من لــب الأرض إلى وشــاحها. يتألف اللب فــي معظمه من الحديد، ممــا يجعل كثافته أعلــى بمرتين مــن كثافة وشــاح الأرض. ونتيجة لذلك، يكاد لا يحدث أي خلط بينهما، ويتــم تبادل الحرارة فــي الغالب عن طريق **النقل (التوصيل)** conduction. وبينمــا يكون الوشــاح غنيا باليورانيــوم والثوريوم والپوتاســيوم المشعة، يفتقر لب الأرض على الأرجــح إلى النظائر المشــعة، وهذا ما يدل

(*) CONVECTION ON STEROIDS
(**) Taking the Heat
(1) chaotic

ضمنا على أنّ درجة الحرارة الحالية التي هي ربما من 4000 إلى 5000 درجة كلفن يكون معظمها مستمدا من الحرارة المتخلفة عن تكوين الكرة الأرضية. ومنذ ذلك الحين تبرّد لب الأرض مع مرور الزمن طالما كانت الحرارة تنتقل إلى وشاح الأرض على الحدود الفاصلة بين اللب والوشاح.

وعن طريق وضع افتراضات معقولة عن **الموصلية الحرارية** heat conductivities للمواد في طبقة الوشاح السفلية، كنت قادرا مع الذين يتعاونون معي على تخمين أنّ معدل الحرارة الذي يتدفق من لب الأرض إلى الوشاح يمكن أن يكون من 5 إلى 10 **تيراواط** terawatts، وهذه الحرارة تساوي متوسط إنتاج محطات توليد الطاقة في العالم مجتمعة. إنه أكبر تدفق للطاقة، ومن ثم أسرع لتبريد لب الأرض مما كان يعتقد سابقا. وحتى يكون اللب في درجة حرارته الحالية، بعد ذلك، لا بد وأن يكون قد بدأ بدرجة حرارة أعلى مما كان يفترض.

لقد حدّد ذلك التدفق من الحرارة كيفية تطور لب الأرض منذ أن تشكلت الكرة الأرضية. ففي داخل الأرض الفتية، كان لب الأرض سائلا تماما، ولكن في مرحلة ما من تاريخ الكوكب بدأ اللب الداخلي بالتبلور، بحيث أصبح مؤلفا الآن من طبقتين: طبقة داخلية وهي اللب الصلب وطبقة خارجية وهي اللب السائل. ويوحي المعدل الأسرع للتبريد أن اللب الصلب الداخلي قد يكون أقل عمرا بنحو بليون سنة فهو أكثر حداثة مقارنة بعمر الكرة الأرضية البالغ 4.6 بليون سنة: وإلا فإن عمر اللب الداخلي سيكون أكبر بكثير مما نراه في الوقت الحاضر.

ثمة دلالات بين تشكل اللب الداخلي والمغنطيسية الأرضية، ولهذه الأخيرة بدورها علاقة بالحياة. ويعتقد علماء الأرض أن الحمل الحراري **للفلز السائل** liquid metal في اللب الخارجي المنصهر هو الذي يولد المجال المغنطيسي للكوكب، من خلال عمل المولِّد (الدينامو). وإنّ وجود اللب الداخلي الصلب يجعل الحمل الحراري أكثر انتظاما وأقل شواشية، مفضيا إلى وجود مجال مغنطيسي أقوى ممّا لو كان اللب سائلا بكامله. والمجال المغنطيسي الأرضي يحمي الكرة الأرضية من الرياح الشمسية والأشعة الكونية، التي يمكن أن تسبب الطفرات الجينية وربّما تكون بصورة خاصة خطيرة على الحياة على الأرض اليابسة. ويجوز أن يكون التغير في شدة المجال المغنطيسي الأرضي، الذي ربما حصل قبل نحو بليون سنة، قد جعل الحياة تنتشر من البحار إلى الأرض اليابسة.

فالپوستپيروڤسكايت يؤثر في نشر الحرارة ليس فقط عند الحد الفاصل بين اللب والوشاح ولكن في جميع أنحاء الوشاح أيضا، وهذا الاكتشاف أسفر عن مزيد من الرؤى عن تاريخ الأرض. تتشكل أعمدة الصخور المنصهرة (+) plumes في الوشاح فوق الحد الفاصل بين اللب والوشاح. عندما تصعد هذه الأعمدة في الوشاح داخل طبقة الپوستپيروڤسكايت، تواجه ضغوطا أكثر انخفاضا، حتى الوصول إلى عتبة يتحوّل عندها الپوستپيروڤسكايت الساخن إلى معدن الپيروڤسكايت الأقل كثافة، ويزداد حجمه. تستمر هذه الأعمدة الأقل كثافة من المواد الأبرد المحيطة بها بقدرتها على الطفو وهذا ما يعزز صعودها إلى الأعلى. وقد أظهرت المحاكاة الحاسوبية أنّه، عند وجود الپوستپيروڤسكايت، يتزايد تشكّل الأعمدة وتعرّجها أكثر فيما لو كان الوشاح الأسفل مؤلفا بأكمله من الپيروڤسكايت (*انظر المؤطّر في الصفحة المقابلة*). كما أظهرت عمليات المحاكاة بهذه الطريقة، أنّ وجود الپوستپيروڤسكايت ربّما سرع تدفق الحرارة خلال الوشاح بنسبة 20 في المئة.

تطور وشاح الأرض ولبها(*)

عندما تشكلت الأرض، لم يحتوِ وشاحها على پوستپيروڤسكايت، وكان لب الأرض الساخن الغني بالحديد سائلا تماما. ونظرا لأن الوشاح كان غير فعال لتبديد الحرارة فإنّ الأرض الداخلية تبردت ببطء (الأرض الفتية). ومنذ نحو 2.3 بليون سنة، سرّع تشكّل الپوستپيروڤسكايت في الجزء السفلي من الوشاح صعود الحمل الحراري. وثمة احتمال في أن هذا التغيير في الديناميات قد زاد البركنة، وازداد معها حجم القارات (الأرض اليافعة). ونتيجة لذلك، فقد برّد نقل الحرارة المتسارع أيضا لب الأرض بما يكفي لبدء تشكّل لب داخلي صلب منذ نحو بليون سنة (الأرض الناضجة). وأصبحت أنماط الحمل الحراري في طبقة اللب السائل أكثر انتظاما وبدأت بإحداث الحقل المغنطيسي الأرضي القوي، والذي يحمي الأرض من مخاطر الرياح الشمسية والأشعة الكونية. وربما مكن ذلك الحياة من أن تنتقل إلى الأرض اليابسة.

الأرض الفتية
لا يوجد پوستپيروڤسكايت. يكون اللب سائلا ويشكّل حقلا مغنطيسيا أرضيا ضعيفا للغاية.

الأرض اليافعة
يبدأ الپوستپيروڤسكايت بتشكيل الحمل الحراري في وشاح الأرض وتسريعه نحو الأعلى. تزداد البركنة وتنمو القارات بمعدل أسرع.

الأرض الناضجة
يبدأ اللب بالتصلب في المركز. تقوي أنماط جديدة من الحمل الحراري في اللب السائل المجال المغنطيسي الأرضي.

(*) MANTLE AND CORE EVOLUTION

يسبب الخلط (*)

وبتسريع الحمل الحراري نحو الأعلى في الوشاح، فإن وجود البوستبيروڤسكايت يزيد درجة حرارة الوشاح الأعلى مئات الدرجات. وتكمن إحدى نتائجه في أنّ البراكين تصبح أكثر نشاطا من كونها من دونه. وفي الكرة الأرضية المبكرة، عندما كان لب الأرض أعلى حرارة، كانت حرارة الجزء الأدنى من الوشاح أيضا أكثر ارتفاعا وخارج نطاق درجات الحرارة التي عندها يمكن أن يتشكل البوستبيروڤسكايت. وعلى النقيض من ذلك، وفي غياب البوستبيروڤسكايت الذي يسرّع تدفق الحرارة نحو الأعلى، ربّما كان الوشاح الأعلى أبرد مما هو عليه الآن. وبما أنّ الكرة الأرضية تتبرّد ببطء، فإن بعض البيروڤسكايت بدأ بالتحول إلى البوستبيروڤسكايت، ربما منذ نحو 2.3 بليون سنة، مُزيدا بذلك تدفق الحرارة من اللب ورافعا درجات الحرارة في الوشاح بأكمله. ونتيجة لذلك، قدّر الباحثون أنّ الحركة الأسرع للصفائح، والزيادة في النشاط البركاني ربّما أدت إلى نمو أسرع بمرتين للقارات خلال الـ 2.3 بليون سنة الماضية مقارنة بما كانت عليه خلال معظم الزمن السابق، مع أنّ هذا الاستنتاج لايزال عرضة للكثير من الجدل الشديد.

قد تكون الخواص الفيزيائية للطبقة D`` مختلفة تماما عن الخواص الموجودة في الوشاح الذي يعلوها. فقد كشفت القياسات الحديثة أن ناقلية البوستبيروڤسكايت الكهربائية أعلى بكثير من موصلية (ناقلية) معدن البيروڤسكايت، الأمر الذي يجعل الوشاح الأسفل أكثر موصلية بدرجات عدة. وموصلية طبقة البوستبيروڤسكايت الأعلى سوف تعزز تبادل **الاندفاع الزاوي** momentum بين اللب السائل والوشاح الصلب كلما تغيّر نمط تدفّق اللب. (ينتج التبادل بما يسمى **قوة لورينتز** Lorentz force.) ووفقا لعمليات المحاكاة التي أجراها باحثون آخرون، فإن هذا التبادل سيغير سرعة دوران الكرة الأرضية بطريقة تتفق بشكل وثيق مع وجود اختلافات قدرها ميلّي ثانية واحدة لوحظت بالفعل في طوال اليوم على النُّطُق الزمنية **العقدية** decadal. ويمكن أن تساعد **المواصلة الكهربائية** the electric conductance للبوستبيروڤسكايت والتبادل الكبير الناتج من الاندفاع الزاوي أيضا على تفسير **المبادرة** precession الدورية لمحور دوران الأرض (الترنُّح).

ومع وجود البوستبيروڤسكايت في العدد القليل من مئات الكيلومترات أسفل وشاح كوكب الأرض فحسب، فإنه قد يشكل أجزاء أكبر من الكواكب الأخرى. ويتوقع التحليل النظري أن يكون بوستبيروڤسكايت سيليكات المغنيسيوم مستقرا حتى 1000 گيگاپاسكال و 10000 درجة كلفن، قبل أن يتفكّك إلى خليط من ثاني أكسيد السيليكون وأكسيد المغنيسيوم. وينبغي أن يكون البوستبيروڤسكايت بالتالي المكوّن الرئيسي في **ألباب** cores أورانوس ونپتون الصخرية. وفي المقابل، تكون ألباب المشتري وزحل الصخرية مغلفة بطبقات سميكة من الهدروجين، التي من شأنها أن تنتج ضغوطا ودرجات حرارة عالية لدرجة تعيق استقرار البوستبيروڤسكايت.

وماذا عن الكواكب في منظومات شمسية أخرى؟ إنّ جميع الكواكب الخارجة عن المجموعة الشمسية exoplanets الملاحظة حتى الآن هي أكبر من الكرة الأرضية. ويفترض أن تكون تلك التي لا تتجاوز كتلتها 10 أضعاف الكرة الأرضية، كواكب صخرية تشبه الكرة الأرضية وتسمى كرات **أرضية فائقة** super-Earths. لقد استنتج علماء الفلك تركيب الكواكب الخارجية من خلال مراقبة النجوم التي تستضيفها. وما يمكن استخلاصه من خطوط الامتصاص في الطيف الضوئي للشمس هو أن غلاف شمسنا الجوي مشابه بتركيبه الكيميائي لكواكب مجموعتنا الشمسية.

(*) Causing a Stir

المؤلف

Kei Hirose

هو أستاذ علوم أرض الضغط العالي في معهد طوكيو للتقانة. اختار دراسة الجيولوجيا في جامعة طوكيو، على أمل أن مجرى العمل سوف يأخذه إلى القارة القطبية الجنوبية أو يسمح له باستكشاف أعماق البحار في غواصة. ويركز بحثه على توليد الضغوط ودرجات الحرارة المرتفعة جدا في التجارب المختبرية، مع اهتمام خاص بمواد حول الأرض وفي أعماقها، إلا أنه حتى الآن لم يقطع الأمل من تحقيق أحلام سفره.

وقد استخلص علماء الفلك على نحو مماثل من الأطياف الضوئية للنجوم الأخرى أنّه من المحتمل أن يكون للعديد من **الكرات الأرضية الفائقة**[1] تركيب مشابه لكرتنا الأرضية. وربما يكون اليوستيبيروفسكايت المكوِّن الأكثر وفرة للعديد من هذه الكواكب، نظرا لمدى الضغوط ودرجات الحرارة التي من شأنها أن توجد في باطنها.

لنواصل[*]

لا تزال هناك تساؤلات حول بنية الطبقة "D الغنية باليوستيبيروفسكايت على كوكبنا. لقد لوحظت، منذ فترة طويلة في تلك الأعماق، شذوذات كبيرة في سرعة الموجات السيزمية، كما لو أنّ الطبقة "D لم تكن متماثلة وإنّما مؤلفة من سحنتين واضحتين اثنتين تقع الأولى تقريبا تحت إفريقيا وتقع الثانية تحت المحيط الهادئ. ويمكن أن تكون هناك كتلتان اثنتان، أكثر كثافة من الصخور المحيطة بها ولكنهما تظلان خفيفتين ما يكفي لتطفوان على اللب الخارجي، تماما كما تطفو القارات على الوشاح الخارجي؟ وهذه «**القارات المخفية**» hidden continents يمكن أن تؤثر في التدفقات في الجزء السفلي من الوشاح الخارجي وتؤثّر بصورة غير مباشرة في أنماط الحمل الحراري في وشاح الأرض بأكمله - وبالتالي تؤثّر حتى في تكتونية الصفائح على السطح. كيف تتشكل هذه الكتل، وهل هي في طور النمو؟ هل يمكن أن يكون للكتلة الواقعة تحت المحيط الهادئ علاقة بأعمدة الصخور المنصهرة في الوشاح التي أحدثت أرخبيل هاواي؟ يمكن أن تتم الإجابة عن هذه الأسئلة وغيرها في المستقبل القريب.

لقد بقي القسم الأدنى من وشاح الكرة الأرضية فترة طويلة غامضا، ولكن الكثير من خصائصه هو الآن مفسر بصورة جيدة بفضل اكتشاف اليوستيبيروفسكايت. وفي المقابل، لايزال هناك عدد من الأسئلة يحتاج إلى أجوبة حول اللب الفلزي الغني بالحديد. كانت دراسة اللب أصعب بكثير من دراسة الوشاح لأنه حتى في الآونة الأخيرة لم تتمكّن تقنيات **سندان الألماس**[2] من إعادة إحداث الضغوط ودرجات الحرارة التي توجد في لب الأرض. ويمكن أن يُحدث الباحثون ضغوطا أعلى بطريقة القوة الضارية التي يولدها الانضغاط الناجم عن **موجة صدمية**[3]، ولكن درجات الحرارة التي تنتجها تلك الطريقة ستكون عندئذ مرتفعة للغاية.

ومع ذلك، من المعروف منذ عام 1952 أن اللب السائل الخارجي أقل كثافة بنحو 10 في المئة من الحديد النقي أو سبائك النيكل والحديد. ولذلك يجب أن نجد عنصرا أو عناصر أخف وزنا مثل الكبريت والسليكون والأكسجين والكربون والهدروجين، ولكن تحديد هذه العناصر الخفيفة مازال مثيرا للجدل إلى أبعد الحدود. ويتم الحصول على أفضل تقدير لدرجة حرارة اللب من درجة حرارة انصهار السبائك الحديدية عند ضغط يوافق الحد الفاصل بين اللب الصلب واللب السائل. ولكن التقديرات الحالية يُشك فيها عندما تصبح الحرارة أكثر من 2000 درجة كلفن، لأن درجة حرارة الانصهار تعتمد اعتمادا كبيرا على التركيب الصحيح، وهو غير معروف. وكذلك فإن البنية البلورية للحديد في شروط اللب الداخلي لا تزال أيضا غير معروفة، وهذا يجعل من الصعوبة بمكان تفسير الملاحظات السيزمولوجية. ومع ذلك، فمنذ عهد قريب أنتجنا سندانات ألماسية تستطيع الوصول إلى مدى الحد الأقصى من الضغوط ودرجات الحرارة التي توجد في لب الأرض، وهذا ما يفسح المجال لمعالجة هذه الأسرار التي لم تحل بعد حول الجزء الأعمق من كوكبنا. وسيكون ذلك إلى حد ما كَمَنْ يُسافر على طول الطريق الذي يؤدي إلى مركز الأرض، وإن كان ذلك فقط في مخيلتنا. ■

(*) To Be Continued
(1) super - Earths
(2) diamond - anvil
(3) shock - wave

مراجع للاستزادة

Perovskites. Robert M. Hazen in *Scientific American,* Vol. 258, No. 6, pages 52–59; June 1988.

Sculpting the Earth from Inside Out. Michael Gurnis in *Scientific American,* Vol. 284, No. 3, pages 34–41; March 2001.

Post-Perovskite Phase Transition in MgSiO3. Motohiko Murakami, Kei Hirose, Katsuyuki Kawamura, Nagayoshi Sata and Yasuo Ohishi in *Science,* Vol. 304, pages 855–858; May 7, 2004.

Deep Earth and Mineral Physics. Special issue of *Elements,* Vol. 4, No. 3; June, 2008.

Deep Mantle Properties. Kei Hirose in *Science,* Vol. 327, pages 151–152; January 8, 2010.

Scientific American, June 2010

رؤية بالغة الغرابة عند العميان[*]

*نمط خاص من الرؤية لدى بعض المصابين بالعمى الناجم عن أذية دماغية يسمى **رؤية العميان**[١]: وهي إمكانية استثنائية للتفاعل مع المشاعر العاطفية الظاهرة على الوجوه، بل حتى القدرة على التجوال وسط العوائق دون أن يدركوا أنهم يستطيعون رؤية أيّ شيء.*

<B. دي جيلدر>

لقد تمكنتُ مع زملائي من تصوير فيلم فيديو مذهل، يظهر فيه رجل أعمى يتمكن من شقّ طريقه عبر ممر طويل تتبعثر فيه صناديق وكراسيّ وأدوات مكتبية أخرى. وهذا الرجل - المعروف في الأوساط الطبية بـ(TN) - ليست عنده أية فكرة عن وجود هذه العوائق هناك، ومع ذلك فهو يتجنبها جميعها، إذ يميل جانبيا هنا ليمرّ بدقّة بين سلة مهملات وبين الحائط، ويدور هناك حول الحامل الثلاثي القوائم لكاميرا تصوير، وهذا كلّه يجري دون أن يدرك أنه قد قام بأية مناورات خاصة. إن الرجلّ TN يمكن أن يكون أعمى، ولكنه يتمتّع برؤية العميان أي القدرة البارزة وغير العادية على الاستجابة لما يمكن أن تتبيَّنه عيناه دون أن يدرك أنّ بإمكانه أن يرى أيّ شيء على الإطلاق. [لرؤية الفيلم موضوع الاختبار قم بزيارة الموقع: www.ScientificAmerican.com/may2010/blindsight].

إنّ العمى عند الرجل TN هو من نوع نادر جدا، وقد حدث بسبب الإصابة بسكتة دماغية مرتين في عام 2003، حيث أدّى ذلك إلى أذية في منطقة من الناحية الخلفية لدماغه تسمى **القشر البصري الأولي**[٢]، وكانت هذه في نصف الكرة الدماغية الأيسر أولا، ثم تلتها إصابة في النصف الأيمن بعد خمسة أسابيع. بقيت العينان سليمتين تماما، ولكن نظرا لتوقّف القشر البصري عن تلقّي الإشارات الواردة صار الرجل TN أعمى بشكل كامل.

ومن المحتمل أن تكون الدراسة المذكورة أعلاه عن عبور الرجل TN للرواق هي الإثبات الأكثر إثارة بين جميع التقارير المتعلّقة برؤية العميان حتى الآن. وقد قدّم مرضى آخرون فقدوا البصر بسبب إصابة القشر البصري الأولي حالات لهذه الظاهرة ماثلتها في الغموض، وإن كانت أقل إدهاشا، حيث استجابوا لأشياء لا يستطيعون رؤيتها بشكل واع، بدءا من الأشكال الهندسية البسيطة إلى الصورة المعقّدة لوجه شخص يعبّر عن مشاعره. وقد تمكَّن العلماء أيضا من إحداث نتائج مشابهة عند أشخاص أصحاء بالتعطيل المؤقت للقشر البصري الخاص بهم أو بالتحايل عليه بطرق أخرى.

حاليا تسعى الأبحاث المتعلقة برؤية العميان إلى فهم مدى قدرات الإدراك الحسي التي يُحتمَل أن يحتفظ بها المصاب بالعمى القشري، وإلى تحديد أيّ من أجزاء الدماغ والسبل العصبونية هي المسؤولة عن ذلك. والمعلومات التي تمَّ الحصول عليها ذات قيمة

مفاهيم مفتاحية

- يبدي بعض المصابين بالعمى الناجم عن أذية دماغية نمطا خاصا من الرؤية يطلق عليها رؤية العميان، وتتميز بإمكانية الاستجابة للأشياء والصور التي لا يستطيعون رؤيتها بشكل واع.
- رؤية العميان تمكّن الأعمى من استبانة الكثير من المَيّزات البصرية، من ضمنها الألوان والحركة والأشكال البسيطة والمشاعر العاطفية التي يعبّر عنها الشخص بوجهه أو بوضعيته.
- يقوم الباحثون بوضع خريطة لمناطق الدماغ القديم (تطوريا) المسؤولة عن رؤية العميان، وباستكشاف حدود هذه القدرة البارزة وغير العادية.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) UNCANNY SIGHT IN THE BLIND
(١) blindsight
(٢) the primary visual cortex



إلى حدّ ما بالنسبة إلينا جميعا، إذ إنه حتى ولو لم نُصَب بأذية مريعة كإصابة الرجل TN، فإنّ وظائف الدماغ اللاواعية نفسها التي بدت عنده كقدرة مدهشة على الرؤية دون إدراك، تُشكِّل بالتأكيد جزءا ثابتا خفيا من ممارسات حياتنا اليومية.

تاريخ حافل بالخلاف والجدل(*)

منذ عهد بعيد يعود إلى عام 1917 أبلغ الأطباء عن حالات مشابهة لرؤية العميان، أسموها آنذاك الرؤية المتبقّية، وكانت عند جنود أصيبوا خلال الحرب العالمية الأولى. ولكنّ الأمر احتاج إلى مرور نصف قرن من الزمن قبل أن تبدأ أبحاث أكثر تنظيما وموضوعية بأخذ دورها. في البداية قام <L. وايسكرانتز> وتلميذه <N. K. همفري> في عام 1967 – وكانا في ذلك الوقت في

(*) A Controversial History

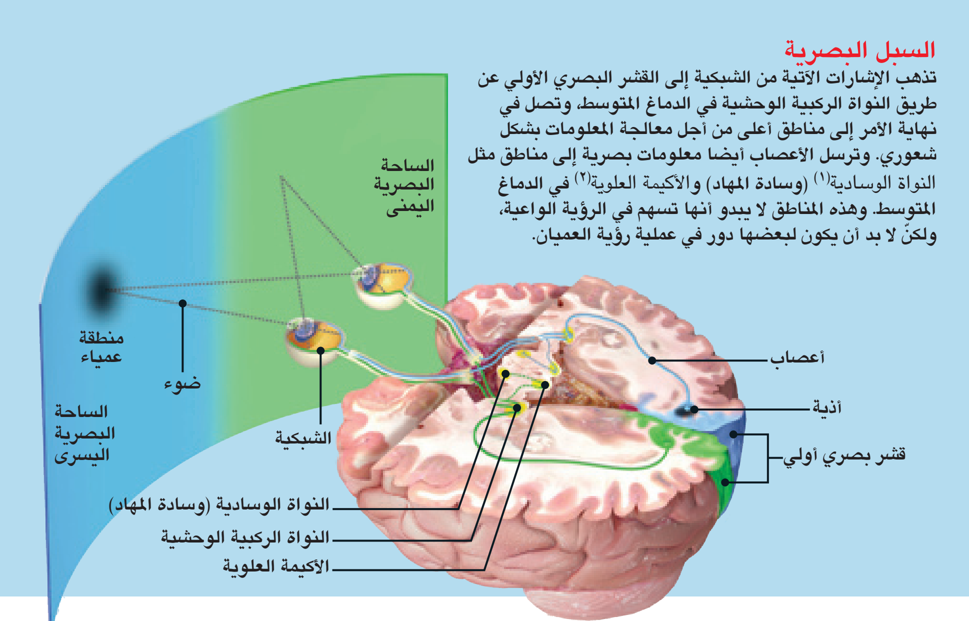
[أساسيات]

ما هي «رؤية العميان؟»(*)

تعتمد الرؤية الواعية عند الإنسان على ناحية من الدماغ تُسمّى القشر البصري الأولي (*الصورة في الأسفل*). ويؤدّي تخربه إلى حدوث عمى في المناطق المقابلة من الساحة البصرية. وتحصل رؤية العميان عندما يستجيب المرضى بطريقة ما لعنصر موجود في المنطقة العمياء، بينما لا يستطيعون رؤيته بشكل واع. وفي عرض مثير لهذه الظاهرة قام مريض يدعى TN بعبور مسار مليء بالعوائق مع أنه أعمى تماما (*الصورة في اليمين*).

الأعمى المتجوِّل

نظرا للشك في أنّ المريض TN يمكن أن يُبدي ظاهرة رؤية العميان، طلب الباحثون بمن فيهم حـ. وايسكرانتز (الظاهر مع المريض TN في الصورة أعلاه) إلى المريض السير في ممر مليء بأغراض مبعثرة، وأعلموه أنه ممر فارغ. قام الرجل TN بتجنّب جميع العوائق في الممر، مع أنه بقي جاهلا وجودها وغير مدرك لمشيه بمسار متعرج. يمكن الاطلاع على الڤيديو الذي يعرض هذه التجربة بزيارة الموقع: (www.ScientificAmerican.com/may2010/blindsight).



السبل البصرية

تذهب الإشارات الآتية من الشبكية إلى القشر البصري الأولي عن طريق النواة الركبية الوحشية في الدماغ المتوسط، وتصل في نهاية الأمر إلى مناطق أعلى من أجل معالجة المعلومات بشكل شعوري. وترسل الأعصاب أيضا معلومات بصرية إلى مناطق مثل النواة الوسادية(1) (وسادة المهاد) والأكيمة العلوية(2) في الدماغ المتوسط. وهذه المناطق لا يبدو أنها تسهم في الرؤية الواعية، ولكنّ لا بد أن يكون لبعضها دور في عملية رؤية العميان.

جامعة كامبريدج - بدراسة قرود عُدِّلت جراحيا. وتَلاهُما في عام 1973 ‹E. بوبيل› و‹R. هيلد› و‹D. فروست› [من المعهد MIT(3)]، حيث قاموا بقياس حركات العين عند مريض، فوجدوا أنّ لديه ميلا طفيفا إلى النظر باتجاه منبّهات لا يستطيع أن يراها بشكل واع.

حثّت هذه الاكتشافات على القيام باستقصاءات أكثر منهجية أجريت على حيوانات أزيل منها القشر البصري الأولي (الذي يُدعى أيضا V1)، وقد أشرف على معظمها ‹وايسكرانتز› ومعاونوه. وأثبت عدد من هذه الدراسات أنّ الحيوانات المذكورة تحتفظ بقدرات بصرية معتبرة بعد إزالة القشر البصري عندها (منها مثلا ملاحظة الحركة وتمييز الأشكال).

شرع ‹وايسكرانتز› ومعاونوه أيضا عام 1973 بدراسات على شخص يُعرَف بـ (DB) كان قد فَقَدَ منذ فترة قريبة جزءا من القشر البصري لديه نتيجة استئصال جراحي لورم دماغي. ولكنّ غالبية الباحثين استقبلت في البداية التقارير والنتائج المتعلقة برؤية العميان عند البشر بقدر كبير من التشكيك والارتياب.

لم يكُن عدم تصديق ظاهرة رؤية العميان بالأمر المفاجئ، لأنّ هذه الظاهرة تبدو منافية للمنطق، إن لم تكن برمتها مناقضة لذاتها. فكيف يمكن للمرء أن يرى دون أن يدرك أنه يقوم بذلك؟ فمثلما أنه ليس من المنطقي أن يقول المرء لست أدري إن كنت متألما، يبدو الأمر هو نفسه بالنسبة إلى الاقتراح بأنّ أحدهم يستطيع أن يرى شيئا ما بينما يصرّ على أنه أعمى.

ومع ذلك، فإننا لا ندرك في جميع الأحيان إن كنّا نستطيع الرؤية أم إننا عاجزون عن ذلك، فالعلاقة بين الرؤية والإدراك هي أمر أكثر تعقيدا من افتراضاتنا الاعتيادية. مثلا

(*) What Is Blindsight?
(1) pulvinar nucleus
(2) superior colliculus
(3) Massachusetts Institute of Technology

لدى كل شخص سليم ما يسمى **البقعة العمياء** blind spot في ساحته البصرية، ومع ذلك فهو في الحالة الاعتيادية لا يعرف بوجود هذه الفجوة في مجال رؤيته، كما أنّ هذا الأمر لا يسبّب له أية إعاقة.

وهناك سبب آخر لعدم التصديق هو قلة الأدلّة البشرية: فالأشخاص المصابون بالعمى القشري والقابلون للدراسة نادرون عدديا. إنّ القشر البصري الأولي لا يتجاوز عرضه سنتيمترات عدة لا غير عند البالغين، ويصعب أن تنحصر الأذية الدماغية بهذه المنطقة فقط، بحيث تصيب رؤية المريض وتترك في الوقت نفسه وظائف الدماغ الأخرى سليمة إلى حدّ يكفي لإجراء دراسة ذات مغزى على ما بقي الدماغ قادرا على إدراكه حسيا. ومع ذلك، من الواضح الآن أنّ عددَ مَن لديه رؤية العميان بين المرضى المصابين بأذية في القشر البصري الأولي هو أكبر بكثير من العدد الذي واجهه العلماء في السابق، وأنّ التشكيك في شأنها قد تضاءل وانحسر.

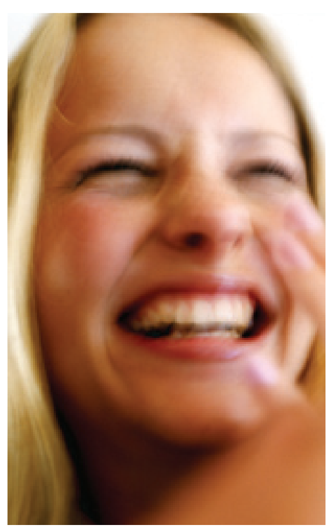
ولا يزال معظم هؤلاء المرضى يحتفظون بجزء من وظيفة القشر البصري الأولي، ولدى الكثير منهم إصابة محصورة في قطاع صغير من القشر البصري الأولي تؤدي إلى بقعة عمياء صغيرة في ساحتهم البصرية؛ بينما لدى بعضهم فقدان كامل للنصف الأيمن أو الأيسر من القشر البصري الأولي ينجم عنه عمى في نصف الساحة البصرية المعاكس لجهة الإصابة. فرؤية العميان في هذه الحالات تتضمن تمييز الأشياء أو الصور الموجودة في البقعة العمياء، بينما يعجز المريض عن رؤيتها بشكل واعٍ.

وتعتمد الطرق التقليدية لدراسة الرؤية عند الإنسان على إجابة الشخص الناظر عمّا يشعر بأنه يراه، ومن ثمّ سيجيب الأشخاص المفحوصون بهذه الطريقة بأنهم لا يرون أيّ شيء في البقع العمياء من ساحاتهم البصرية. ولكنّ الطرق التي تعتمد أساليب لا مباشرة، يمكنها أن تكشف أنّ تلك المنبّهات

ما هي الأشياء التي يمكن تمييزها؟(*)

تكون رؤية العميان أقوى ما يمكن عندما تكون التفاصيل المنظورة مقاربة في الحجم لما تبدو عليه قطعة نقدية بقيمة ربع دولار عندما توضع على بُعد 5 إلى 15 قدما. وتستطيع هذه الرؤية أن تلتقط تشكيلة من الخصائص البصرية الأساسية، من ضمنها:

- الأشكال البسيطة
- منظومات من الخطوط
- أشياء تظهر وتختفي
- الحركة
- اللون
- اتجاه الخطوط





▲ يمكن لرؤية العميان أيضا أن تميّز العواطف التي يعبّر عنها الشخص، ولكنها تعجز عن تحديد مَن هو هذا الشخص أو إلى أيّ من الجنسين ينتمي.

البصرية غير المرئية لها تأثير فعلي في كيفية استجابة المريض.

وفي بعض التجارب يبدي المرضى تبدلات فيزيولوجية واضحة - مثل تقبّض الحدقة - كعلامات على الرؤية اللاشعورية. كما يمكن أن يرتكس المرضى للمرئيات الموجودة في ساحة بصرهم السليمة بشكل يختلف حسب ما هو موجود في الوقت نفسه في الجزء الأعمى من الساحة. وعندما كان يُطلَب إلى المريض أن يخمِّن - من ضمن خيارات عديدة - أيّا من الأشياء هي الموجودة في المنطقة العمياء من الساحة، فإنّ الإجابات كانت صحيحة في جميع المرات تقريبا.

وهناك طريقة تجريبية مهمة أخرى وهي التصوير العصبي الذي يستطيع أن يقدِّم دليلا مباشرا على مناطق الدماغ المعنية برؤية العميان وعلى السبل العصبية التي تنقل المعلومات البصرية. وفي الواقع كان تصوير الدماغ هو الوسيلة التي بدَّدت آخر الشكوك في أنّ الاحتفاظ ببعض الأجزاء القشرية سليمة يمكن أن يفسِّر ظاهرة الرؤية المتبقّية.

وبصورة إجمالية كشفت هذه الأنماط المختلفة من التجارب أنّ الإنسان يمكنه أن يميِّز بشكل غير واعٍ مجالا واسعا من الصفات المميزة البصرية، من ضمنها الألوان والأشكال البسيطة مثل (X و O) والحركة البسيطة واتجاهات الخطوط وشبكات القضبان. وفي المقابل، يبدو أنه من الصعب تمييز الأشكال الكبيرة وكذلك التفاصيل الدقيقة جدا.

لقد كانت تجربة تجوال الرجل TN التي قام بها الباحثان ‹وايسكرانتز› و‹همفري› في سبعينات القرن الماضي ملهمة لنا كي نحاول إجراءها: فجعلنا قردا لا يملك قشرا بصريا أوليا يتحرّك بحرية في غرفة مليئة بالأغراض بشكل عشوائي دون أن يصطدم بأيّ منها. ومع ذلك، دُهشنا عندما شقّ الرجل TN طريقه في الممر دون أن يصطدم

(*) WHAT CAN BE DETECTED?

بشـــيء على الإطلاق، ولم تبيّن **الفحوصاتُ الفيزيائيـة النفسـية المُشـخصَنة**[١] لتقييم الرؤيـــة الواعية لديه وجودَ أية وظيفة بصرية عنده، بما في ذلك ملاحظة أهداف كبيرة.

إنّ سـلوك الرجل TN خلال سـيره عبر الرواق يُذكِّرنا بحالة السير أثناء النوم، وهي ظاهرة أخرى نجد فيها الشخص يبدي قدرة علـى إنجاز الأمور بطريقـة ما دون أن يعي علـى الإطلاق ما يفعله. وفـي الواقع عندما سُـئل الرجل TN فيما بعـد، أصرّ على أنه سـار ببسـاطة عبر الممر، فهو لم يكن غيرَ مدرك لرؤيته أيّ شيء فحسب، بل كان أيضا غافلا تماما عن كيفية مناورته حول الأشياء غير المرئية وتفاديه إياها. لقد كان عاجزا عن تفسير سلوكه أو حتى عن وصفه.

رؤية العميان بالنسبة إلى المشاعر العاطفية(**)

إنّ التجوال والطواف هما من أهمّ الفروض الأساسـية التي يواجهها الحيوان، لذا يجب ألاّ يكون من المستغرب أن يجد الدماغ طرقا للمحافظة على القدرة على التجوال حتى في حالة تعطيل القشـر البصري الأولي والرؤية الواعية. وباعتبار الإنسـان كائنا اجتماعيا، فهو كذلـك يعتمد في بقائه علـى التواصل الناجـح مـع الآخرين. لـذا عليـه أن يميّز بقية الأشـخاص، وأن ينتبه إلـى الإيماءات والعلامـات التـي تـدلّ عمّا يفكـرون به. وانطلاقا من هذه الأفكار بدأتُ مع مساعديّ في أواخر تسعينات القرن الماضي بالتساؤل عمّـا إذا كان الأشـخاص المصابـون بأذية قشـرية يمكنهم تمييز أشياء مرئية من أمثال المشاعر العاطفية التي تظهرها تعابير الوجه أو المعانـي التي توحي بها وضعية الجسـم عندما تكون في أقسام من ساحتهم البصرية لا تُتاح لهم رؤيتها في الحالة الاعتيادية.

وفـي عـام 1999 بدأنا بإجـراء مجموعة تجارب باستخدام أفلام عن الوجوه، ومع أنّ الباحثين في البصريات يعتبرون الوجوه عموما مرئيات معقّدة وصعبة القراءة – أصعب بكثير في معالجتها من شـبكات القضبان وغيرها من الأشـكال البسيطة – فإنّ الوجه هو شكل طبيعي للغاية بالنسبة إلى ما يُفترَض بالدماغ البشـري أن يتعامل معه. كان مريضنا (GY) قد فَقَدَ منـذ طفولته كاملَ القشـر البصري الأولي في الجهة اليسرى، ومن ثَمَّ صار أعمى في الجانب الأيمن من سـاحته البصرية. وقد وجدناه يستطيع أن يحزر بطريقة جديرة بالثقة التعابيرَ الظاهرة على الوجوه دون أن يدركها ويشعر بها بشكل واع، لكنه بدا أعمى بشكل حقيقـي فيما يتعلّـق بالعديد من الخصائص الوجهيـة والتي لا صلة لهـا بالعواطف مثل الهوية الشخصية أو الجنس.

للتعمّق في دراسة إمكانية رؤية التعبيرات عـن المشـاعر العاطفية من قبـل العميان، اسـتفدنا عام 2009 من ظاهرة تُدعى **عدوى العواطف**[٢]، وهي ميل الشخص إلى مجاراة مَن يراهم من الأشخاص الآخرين من ناحية تعابيـر وجهـه الذاتيـة. ويقـوم الباحثون بدراسة هذه الظاهرة بالاعتماد على واسطة تُدعـى **التخطيـط العضلـي الكهربائـي للوجه**[٣]، حيث تُسـجِّل المساري الكهربائية الموضوعـة على وجه المفحوص الإشـارات العصبية الصادرة إلى العضلات المسـؤولة عن الابتسام أو العبوس. وقد لجأنا إلى هذه التقنية عند كل مـن الرجلين GY وDB أثناء عَرْضنا عليهما صورا ثابتة لوجوه وأجسام كاملة تبدي تعابير عن الفرح أو الخوف.

أطلقت جميع المنبّهات ردود أفعال عاطفية استنادا إلى تسـجيلات التخطيط العضلي الكهربائـي، بغضّ النظـر عن كون الصورة المنبّهـة موجـودة في جهة الرؤية السـليمة أم في الجهـة العمياء. وفـي واقع الأمر – وبشكل يثير الاستغراب – أدّت الصور غير المرئية إلى استجابة أسـرع من تلك المرئية بشـكل واع. لقد راقبنا أيضا توسّع الحدقة

(*) MAPPING NEURAL PATHWAYS
(**) Blindsight for Emotions
(١) Personalized psychophysical tests
(٢) emotional contagion
(٣) facial electromyography

وضع خريطة للسبل العصبية(*)

يستعمل الباحثون تقنيات تصوير متطورة في محاولاتهم تتبّع السبل العصبية التي تمر عبرها المعلومات البصرية في الدماغ كي تتحقّق رؤية العميان.

وإحدى هذه الطرق هي نوع من التصوير بالرنين المغنطيسي يعتمد على انتشار الماء على طول العصبونات بسرعة أكبر من انتشاره عبرها.

هذه التقنية الخاصة من الرنين المغنطيسي استطاعت أن تضع خريطة لحزم من **العصبونات** neurons قد تكون مسؤولة عن رؤية العميان للمشاعر العاطفية. وهذه السبل تصل وسادة المهاد والأكيمة العلوية **باللوزة** amygdala التي تؤدي دورا مفتاحيا في معالجة المشاعر العاطفية.

[تجارب]

تقصّي رؤية العميان(*)

بسبب ندرة عدد المصابين بالعمى القشري التام مثل المريض TN، فإنّ الدراسات على رؤية العميان لجأت غالبا إلى مرضى مصابين بالعمى في جهة واحدة من ساحتهم البصرية. يُحدِّق المريض في نقطة ثابتة في حين تُعرَض الصور في كلّ من الجهتين. يمكن أن يُطلَب إلى المفحوص أن «يحزر» ما هو الموجود في الجهة العمياء أو أن يضغط على أحد الأزرار في حال رؤيته لعناصر في الجهة المرئية من الساحة. يمكن أن تقوم الأجهزة بمراقبة الفعالية الدماغية، ويمكن أن تقيس الاستجابات اللاإرادية مثل الحركات الضئيلة في الوجه وتوسّع الحدقة.

تقلّص صغير — رؤية طبيعية

جهة مرئية جهة عمياء

تقلّص كبير — رؤية عميان

تقلّص صغير — رؤية طبيعية

تقلّص صغير — لا توجد رؤية عميان

▼ هل تُميِّز رؤية العميان المشاعر العاطفية؟

عندما تُعرَض على المرضى في ساحتهم العمياء صور لأشخاص يعبّرون عن مشاعر عاطفية، نجدهم يخمّنون نوع هذه المشاعر بشكل صحيح في أغلب الأوقات. فالعضلات الوجهية المُستخدَمة في الابتسام والعبوس ترتكس بطرق تجاري فيها نوع المشاعر العاطفية في الصور غير المرئية (*الصورة في الأسفل، بشكل مضخَّم*)، ومن ثَمّ، فإنّ تلك المشاعر يتمّ تمييزها دون تدخّل الرؤية الواعية. وهذا الأثر يظهر مع صور الأجسام المحجوبة وجوهها مثلما يظهر مع صور الوجوه، ممّا يعني أنّ المرضى كانوا يميّزون المشاعر العاطفية، ولم يكونوا يقومون بمجرّد محاكاة لتعبيرات الوجه بشكل لاشعوري.



▲ ما هي مناطق الدماغ التي تَستعملها رؤية العميان؟

عرض الباحثون على المرضى مربعات ملوَّنة باللون الأرجواني والرمادي، مع معرفتهم بأنّ ناحية الأكيمة العلوية[1] في الدماغ المتوسط لا تتلقّى أية إشارات آتية من الشبكية تتعلّق بالأشياء ذات اللون الأرجواني. وقد أثارت المربعات الرمادية دون الأرجوانية مؤشرات تدلّ على وجود رؤية العميان، مثل حدوث تقلصات أكبر في الحدقة. وهذه النتائج - إضافة إلى التصوير العصبي للمريض أثناء التجربة - تشير إلى أنّ الأكيمة العلوية تؤدي دورا أساسيا في حدوث رؤية العميان .

الذي يعتبر مقياسا للتيقّظ الفيزيولوجي، ووجدنا أنّ الصور المخيفة غير المرئية سبّبت الاستجابة الأقوى، ممّا يوحي أنه كلما كنا واعين شعوريا لإشارة عاطفية، كان ردّ فعلنا عليها أبطأ وأضعف.

وثمة مدرسة فكرية ترى أنّ سبب عدوى العواطف هو قيام الناس بالتقليد اللاشعوري للتعابير التي يرونها، دون أن يميّزوا بالضرورة الشعور العاطفي بحدّ ذاته. ولكن نظرا لكون مرضانا قد تفاعلوا ليس مع الوجوه فحسب، بل أيضا مع الأجسام (التي كانت لها وجوه ضبابية غير واضحة)، لذا استنتجنا أنهم يحسون بالانفعال ويستجيبون له.

رؤية العميان للجميع(**)

بسبب القلّة الشديدة لعدد المرضى المناسبين لإجراء الدراسات المتعلّقة برؤية العميان، فإنّ إحداث هذه الظاهرة بشكل مؤقت عند أشخاص سليمي الأدمغة تماما هو وسيلة قيّمة من أجل إجراء **تجارب محكومة**[2]. وإحدى التقنيات المُستعمَلة تستخدم «**حجب» الرؤية**[3] أو ما يُعرَف باستخدام الصور **تحت العتبة** subliminal: حيث يلتمع منبّه بصري أمام

(*) Investigating Blindsight

(**) Blindsight for All

(1) the superior colliculus region

(2) controlled experiments

(3) visual "masking"

الشخص المفحوص بسرعة خاطفة، ويتلوه مباشرة قالب نمطي يظهر في المكان نفسه. وبذلك يتدخَّل القالب النمطي في عملية المعالجة الواعية للصورة تحت العتبة التي عبرت بسرعة، تاركا الشخص المفحوص دون إدراك شعوري لرؤيته إياها، ولكنّ التجارب تستطيع تقديم دليل موضوعي على أنه رآها. وتقوم تجارب أخرى بالتعطيل المؤقت للقشر البصري بواسطة تطبيق حقول مغنطيسية على القسم الخلفي من الرأس، وتُدعى هذه التقنية باسم **التنبيه المغنطيسي عبر القحف**[1].

لقد أظهرت دراسات عديدة أنّ الأشخاص الأصحّاء يستطيعون أن «يحزروا» بطريقة جديرة بالثقة طبيعةَ المنبّه حتى عندما يُعرَض عليهم بسرعة خاطفة تتجاوز قدرتهم على إدراكه بشكل واع، أو عندما يتمّ تعطيل القشر البصري عندهم بواسطة التنبيه المغنطيسي عبر القحف. وأُجريت أيضا أبحاث أخرى كثيرة لاستقصاء كيفية تفاعل الملاحظين السليمي الرؤية مع المنبّهات العاطفية التي لا يستطيعون رؤيتها بشكل واع. وحتى قبل أن تبدأ مثل هذه التجارب عن رؤية العميان، اقترحت الدراسات على الحيوانات والبشر أنّ بُنى ما تحت القشر (وهي مناطق من الدماغ أكثر عمقا في الموقع وأقدم من الناحية التطوّرية من القشر) يمكنها أن تشرع في استجابات مناسبة قبل أن تقوم مناطق أخرى كالقشر البصري بتحليل المنبّه المثير بشكل مفصَّل. ويبدو أنّ هذا الجهاز اللاشعوري يعمل بموازاة المسالك الطبيعية للمعالجة (المسالك التي يسيطر عليها القشر). وهذه المناطق تحت القشرية التي تُثار بالمنبّهات العاطفية تحت العتبة هي المُشتبَه فيها الأولى كمسؤول عن معالجة المشاعر العاطفية التي يميّزها المرضى المصابون بالعمى الدائم بفضل رؤية العميان.

وفي الوقت الراهن لا يزال العلماء يتجادلون فيما إذا كانت هذه الأنماط المؤقّتة من العمى المُحدَث عند الأشخاص السليمي البصر هي المعادل الوظيفي الصحيح لرؤية العميان عند المرضى المصابين بأذية قشرية دائمة. وعلى وجه الخصوص، تسمح تقنيات حجب الرؤية -كاستخدام الصور تحت العتبة - للقشر البصري بمعالجة المعلومات بالطريقة المعتادة، ولكنها تتدخّل في مجرى معالجة واعية لاحقة. ومن ثَمَّ، فإنّ «رؤية العميان» للصور تحت العتبة يمكن أن تكون ظاهرة متميّزة تماما عن رؤية العميان عند المرضى، مع تعلّقها بمجموعة معيّنة من مناطق الدماغ خاصة بها وحدها. أمّا التنبيه المغنطيسي عبر القحف، فيُفترَض أنه يقلِّد الإصابة القشرية إلى درجة كبيرة، ولكن كي نعرف ما إذا كانت رؤية العميان الناجمة عنه تستخدم فعليا السبل العصبونية ذاتها، فإنّ ذلك يتطلّب تجارب تشارك هذه التقنية مع التصوير العصبي.

وفي المقابل، يمكن أن يبدأ الدماغ بعد إصابته بأذية ما (حتى عند البالغين) بإعادة وصل أجزائه لتعويض خسائره. ومثل هذه التكيّفية العصبية من المُحتمَل جدا أن تكوّن سبلا جديدة خاصة برؤية العميان غير موجودة عند سليمي الرؤية الذين تمّت دراستهم باستخدام التنبيه المغنطيسي عبر القحف وحجب الرؤية. وإلى أن يتمّ فهم هذه القضايا بشكل أفضل، فإنّ دراسة المرضى المصابين بأذيات حقيقية سوف تبقى ذات أهمية حاسمة من أجل سبر أغوار الكيفية التي تولِّد بها المناطقُ غير القشرية الرؤيةَ المتبقّية.

سبل عصبية[*]

حتى الآن لم تحسم الأبحاث بشكل كامل أمرَ تحديد البنى العصبية المسؤولة عن رؤية العميان في حالة العمى القشري، ولكنّ المرشّح الأكثر احتمالا لتأدية الدور الرئيسي هو ناحية من الدماغ تُدعى **الأُكيمة العلوية** (SC)[2]، وهي تقع في قسم من تحت القشر يُسمَّى الدماغ المتوسط. وفي بعض الحيوانات غير الثديية مثل الطيور

(*) Neural Pathways
(1) transcranial magnetic stimulation
(2) superior colliculus

المؤلفة



Beatrice de Gelder

أستاذة العلوم العصبية الاستعرافية ومديرة مختبر العلوم العصبية للاستعراف والوجدان في جامعة تيلبورك بهولندا. وهي أيضا عضو في هيئة التدريس بالمركز A. A. مارتينوس للتصوير الطبي الحيوي في مدينة تشارلز تاون بولاية ماساتشوستس. تستقصي دو گيلدر العلوم العصبية التي تعتمد عليها معالجة الوجوه والمشاعر العاطفية، والطرق التي يتفاعل فيها الاستعراف مع العاطفة لدى كل من الأدمغة السليمة والمصابة بأذية.

والأسماك، تُعتبَر الأكيمة العلوية هي البنية الدماغية الأساسية التي تستقبل المعلومات الواردة من العينين. أمّا عند الثدييات، فإنّ القشر البصري يحجب دورها، ولكن يبقى لها عمل في ضبط حركات العين، ضمن الوظائف البصرية الأخرى. وفي رؤية العميان يتمّ استغلال المعلومات المارّة من الشبكية إلى الناحية SC دون أن تذهب أولا عبر القشر البصري الأولي.

وفي العام المنصرم، بيَّنتُ مع زملائي أنّ منطقة الدماغ المتوسط هذه لها دور أساسي في ترجمة الإشارات البصرية التي لا يمكن إدراكها بشكل واع لتصير حَدَثا. وعلى وجه الخصوص، طلبنا إلى مريض أن يضغط على زر في كل مرة نريه فيها مربعا في جهته المرئية، وقمنا في بعض الأحيان بعرض مربع في جهته العمياء في ذات الوقت، وكنّا نستعمل مربعات رمادية حينا ومربعات أرجوانية حينا آخر. وقد اخترنا درجة من اللون الأرجواني لا يميّزها إلاّ نوع واحد فقط من الخلايا المخروطية اللاقطة للضوء في الشبكية. ونظرا لمعرفتنا بأنّ الناحية SC لا تتلقّى أية إشارة من هذا النوع، استطعنا أن نعتبرها عمياء بالنسبة إلى هذا اللون الأرجواني.

لقد أدّى عرض مربع رمادي في الجهة العمياء لمريضنا إلى تسريع الاستجابة عنده، وإلى جعل حدقتيه تتقبَّضان بشكل أشدّ (وهذه علامة على حدوث تأثير للمنبّه البصري)، بينما غاب كلا الأثرين في حالة عرض المربعات الأرجوانية. وبتعبير آخر، فإنّ المريض أبدى وجود ظاهرة رؤية العميان من أجل المنبّهات الرمادية، بينما غاب ذلك من أجل الأرجوانية. وقد أظهرت صور الدماغ أنّ الناحية SC عنده كانت في قمة التحريض فقط مع استخدام المنبّهات الرمادية في الجهة العمياء لديه. وهناك بعض المناطق الأخرى في الدماغ المتوسط يُشتبَه في أن يكون لها دور في رؤية العميان بدلا من الناحية SC، ولكن في تجربتنا بدا أنّ نشاط هذه المناطق غير مرتبط بحدوث رؤية العميان.

إنّ هذه الاكتشافات تظهر أنّ الناحية SC تعمل في دماغ الإنسان كصلة وصل بين المعالجة الحسية (الرؤية) والمعالجة الحركية (التي تؤدي إلى قيام المريض بأفعاله)، وبذلك تسهم في السلوك الموجَّه بالبصر بطريق منفصل بوضوح عن السُبُل التي تتعلق بالقشر، ويكون هذا خارج الخبرة البصرية الواعية تماما. ورؤية العميان الخاصّة بالمشاعر العاطفية التي يظهرها الناس تتعلَّق أيضا بالناحية SC، إضافة إلى مناطق أخرى في الدماغ المتوسط مثل **اللوزة** amygdala.

لقد لفتت رؤية العميان انتباه العديد من الفلاسفة الذين شدّتهم الفكرة التناقضية القائلة بالرؤية دون أن يُدرك الشخص أنه يرى. وهذه الفكرة لا تكون بالطبع تناقضية إلاّ إذا اعتبرنا «الرؤية» تعني دائما «الرؤية بشكل واع». ومثل هذه الخلفية الذهنية شكَّلت حجر عثرة أمام قبول العلماء فكرة رؤية العميان، مما أدّى إلى تأخير التقدّم في فهم دور الرؤية اللاشعورية في الاستعراف عند الإنسان.

ويمكن أن يكون الأمر السابق حجر عثرة أيضا بالنسبة إلى المرضى المصابين بفقدان الرؤية ذي المنشأ القشري، حيث يعيقهم عن إطلاق المهارات الكامنة في رؤيتهم المتبقّية لاستغلالها في حياتهم اليومية. فمثلا يعتبر TN نفسه رجلا أعمى، وسيظل يعتمد بشكل كامل على عكازه الأبيض إلى أن يتمّ إقناعه بأنه يستطيع أن يرى دون أن يدرك ذلك. وهنا قد يفيد التدريب أيضا، إذ إنه بعد ثلاثة أشهر من التدريب اليومي بالمحرِّضات المناسبة، أبدى المصابون بالعمى القشري تحسنا ملحوظا في اكتشاف الأهداف في ساحتهم العمياء. ويبقى أمر معرفة ما إذا كان التدريب المستمر في الظروف الواقعية سوف يؤدي إلى تحسين مهارات التجوال سؤالا قائما (مثله مثل العديد من المظاهر الأخرى لرؤية العميان) مطروحا للبحث في المستقبل. ■

مراجع للاستزادة

Unseen Facial and Bodily Expressions Trigger Fast Emotional Reactions. Marco Tamietto et al. in *Proceedings of the National Academy of Sciences USA,* Vol. 106, No. 42, pages 17661–17666; October 20, 2009.

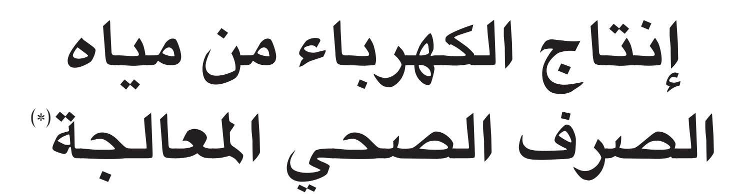
Collicular Vision Guides Nonconscious Behavior. Marco Tamietto et al. in *Journal of Cognitive Neuroscience,* Vol. 22, No. 5, pages 888–902; May 2010.

Affective Blindsight. Beatrice de Gelder and Marco Tamietto in *Scholarpedia,* Vol. 2, No. 10, page 3555; 2007. Available at **www.scholarpedia.org/article/Affective_blindsight**

Helen, a Blind Monkey Who Sees Everything. Video from 1971. Available at **bit.ly/blindsightmonkey**

Scientific American, May 2010


المجلد 26 العددان 10/9
سبتمبر/ أكتوبر 2010
Majallat AlOloom



إنتاج الكهرباء من مياه الصرف الصحي المعالجة(*)

تضخ مدن كاليفورنيا مياه الصرف الصحي المعالجة في باطن الأرض لإنتاج الكهرباء.

<J. B. ليتل>



عندما يقوم سكان مدينة سانتا روزا بالضغط على مفتاح الكهرباء فمن حقهم الشعور بالفخر عندما يضيء المصباح. ففي هذه المدينة بولاية كاليفورنيا حيث كانت مياه الصرف الصحي مشكلة بالأمس، صارت اليوم مصدرا لتوليد الطاقة الكهربائية.

لقد أنتجت الشراكة بين مدينة سانتا روزا ومؤسسة كالپاين أكبر مشروع في العالم لإنتاج الطاقة من مياه الصرف الصحي المعالجة بواسطة حقنها في حقول المياه الجوفية الساخنة، مما مكّن من توليد طاقة نظيفة وتحسين المعيشة ليس للإنسان فحسب وإنما للأسماك أيضا. وقد أدت هذه الشراكة إلى التخلص من غرامات ناتجة من صرف المياه المعالجة إلى **نهر رشن** the Russian River والاستغناء عن مشروع إنشاء محطات وخزانات لمياه الصرف الصحي المعالجة بقيمة 400 مليون دولار. أما بالنسبة إلى شركة كالپاين، فإن المشروع أحيا الاهتمام بإنتاج البخار من حقول المياه الجوفية الساخنة التي بدأت تنضب نتيجة الإفراط في استغلالها.

والمشروع المسمى ينابيع سانتا روزا الساخنة the Santa Rosa Geysers لإعادة الشحن يضخ يوميا 12 مليون گالون (3 ملايين متر مكعب) من مياه الصرف الصحي المعالجة لمسافة 72 كيلومترا من المدينة عبر أنبوب إلى خزانات على قمة جبل، ثم تُحقن في مستودع جوفي على عمق 2.7 كيلومتر. ويعمل **الصهير (الصخور المنصهرة** أو magma) على غليان المياه وتحويلها إلى بخار يجري سحبه بواسطة أنبوب إلى السطح لإدارة **عنفات (توربينات)** turbines توليد الطاقة الكهربائية. وهناك مشروع مماثل في مقاطعة

مفاهيم مفتاحية

- حقن مياه الصرف الصحي المعالجة في حقول المياه الجوفية الساخنة geothermal fields يمكن أن يصبح مصدرا لبخار الماء الذي يمكن استخدامه لإنتاج الطاقة والحد من مشكلة التخلص من مياه الصرف الصحي.
- تمثل المشاريع المنفذة في مدينة سانتا روزا بكاليفورنيا النماذج التي يستفاد منها في كيفية بناء محطات حقول الينابيع الساخنة الضحلة أو العميقة.
- من الممكن أن تتسبب مثل هذه المحطات بزلازل صغيرة في المناطق المحيطة بها، وهو ما يستدعي أخذه في الاعتبار وبجدية من قبل بلديات المدن التي تتبنى مثل هذه التقنية.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) CLEAN ENERGY FROM FILTHY WATER



تصاعد البخار من أبراج التبريد في محطة كالپين للطاقة الجيوحرارية بجبال ماياكامس Mayacamas في كاليفورنيا.

ليك كاونتي Lake County القريبة، حيث يتم ضخ 8 ملايين گالون يوميا من مياه الصرف الصحي المعالجة للغرض نفسه. وتبلغ الطاقة الإنتاجية لكلا المشروعين 200 ميگاوات من الكهرباء، وهي كمية تعادل تلك التي تنتجها محطة كهربائية متوسطة الحجم من دون أن تكون هناك انبعاثات لغازات الدفيئة أو المكونات الغازية الناتجة من حرق النفط أو الفحم، إلى الهواء الجوي. ويجري إرسال الكهرباء الفائضة إلى مناطق أخرى، بما في ذلك مدينة سان فرانسيسكو التي تبعد نحو 70 ميلا إلى الجنوب.

ويتزامن المشروع مع ترويج إدارة الرئيس ‹أوباما› لمصادر الطاقة الجيوحرارية، كأحد مصادر الطاقة النظيفة. وتقدر وزارة الطاقة الأمريكية أن هذه التقنية قد تُؤَمِّن ما يعادل 10 في المئة من احتياجات الولايات المتحدة إلى الطاقة الكهربائية بحلول



يبدو نهر رشن بالقرب من مدينة سانتا روزا بكاليفورنيا أكثر نقاء منذ أن توقفت المدينة عن صرف مياه الصرف الصحي في النهر يوميا.

العام 2050؛ وهناك تقديرات تفوق ذلك. ولكي تتحقق هذه التقديرات، فإن خطط البدء بالحفر في ولاية كاليفورنيا ومناطق أخرى تتطلب الأخذ بالاعتبار احتمالات حدوث زلازل صغيرة نتيجة سحب بخار الماء المتولد من ضخ المياه المعالجة في الآبار. وبالفعل فإن سكان مقاطعة كاليباين يشتكون من ازدياد الاهتزازات الأرضية، ومن ثمّ فإن قيام مشروع مماثل في المنطقة القريبة قد يزيد الوضع سوءا.

ومع ذلك، يرى نائب مدير المشروع <D. كارلسون> أن الفوائد تبقى عديدة وأن الشراكة مع شركة كاليباين تبقى نموذجا لتطوير حلول خاصة لحل المشكلات التي تبدو الآن صعبة، ويضيف بأن هناك مقاطعات أخرى تدرس نماذج أخرى للطاقة الجيوحرارية، حيث إن لكل منطقة ظروفها الخاصة والحكمة هنا هي إيجاد النموذج الأصلح لها.

ضخ، ولا تكب(*)

بالنسبة إلى مدينة سانتا روزا، فإن الشيء الفريد لديها هو **الينابيع الساخنة** Geysers، وهو اسم غير دقيق لحقل من **المنافذ البركانية** Fumaroles، والتي هي عبارة عن ثقوب في الصخور ينبعث منها بخار الماء الذي يتولد نتيجة حقن المياه الجوفية من الحرارة المنبعثة في طبقة من الصهير في باطن الأرض. ولكن البخار المتصاعد من الثغور في جبال مایاکامس لم تعد مشاهدته من المدينة من بُعْد مجرد منظر جميل وإنما حل لمشكلة متفاقمة. ففي عام 1993، واجهت مدينة سانتا روزا تهديدا بإيقاف التوسع العمراني بسبب الصرف غير المشروع لمياه الصرف الصحي المعالجة في نهر رشن الذي يعد منطقة مهمة بالنسبة إلى تكاثر أسماك السالمون من نوع الكوهو وأسماك التراوت من نوع ستيلهد المهددة بالانقراض. وكان المسؤولون في المدينة يحاولون البحث عن موقع مناسب لبناء مشروع معالجة وخزانات لمياه الصرف الصحي التي تتم معالجتها تلبية للاشتراطات البيئية لولاية كاليفورنيا. وفي الوقت ذاته، كان المسؤولون في مقاطعة ليك كاونتي على الجانب الآخر من جبال مایاکامس معرضين لضغط مماثل لإيقاف صرف مياه الصرف الصحي المعالجة في كليرليك Clear Lake، التي تعد أكبر بحيرة مياه عذبة في ولاية كاليفورنيا، نظرا لأن محتواها من العناصر الغذائية يبقى ضارا للحياة المائية في البحيرة والنهر، حتى عند معالجة الصرف الصحي إلى حد المستويات المقبولة قانونيا.

وعلى صعيد التلال بين المدينة والمقاطعة، كانت شركة كاليباين لإنتاج الطاقة من البخار المتصاعد من باطن الجبال تمر في ورطة حيث زادت معدلات سحب البخار من باطن الأرض على معدلات شحن المياه الجوفية الطبيعية. وفي الواقع كانت شركة كاليباين مهددة بنفاد بخار الماء منها. ومن ثم، فقد كان المسؤولون في الشركة يبحثون عن مصدر للمياه لشحن حقول إنتاج بخار الماء.

(*) PUMP, DON'T DUMP

[نظرة إجمالية]

ثلاث مشكلات، وحل واحد(*)



لقد كانت حقول شركة كالپاين آخذة بالنضوب، ولكن مياه الصرف الصحي المعالجة في المدن ستعيد شحن هذه المكامن.

وبفضل الشراكة بين شركة كالپاين وكل من مدينة سانتا روزا ومقاطعة ليك كاونتي أمكن معالجة المشكلات الثلاث بحل واحد بسـيط يتمثل بنقل المياه غير المرغوب فيها إلى حيـث هي مطلوبة، وعليـه تمت إقامة أول مشروع توليد الطاقة من مياه الصرف الصحي المعالجة في العالم في ليك كاونتي والأكبر منه في مدينة سانتا روزا، وكلاهما قابل للتوسع. فمقاطعة ليك كاونتي تخطط لمد خط الأنابيب لديها لكي تسـتقبل المياه المعالجة مـن مقاطعة ليك پورت ومقاطعات أخرى مجاورة. كما قامت مدينة وندسـور القريبة بتوقيع عقد في الشهر 2008/11 لمدة ثلاثـين عاما لضخ 000 70 گالون من المياه المعالجـة يوميا في الأنبوب الـذي أقامته مدينة سانتا روزا.

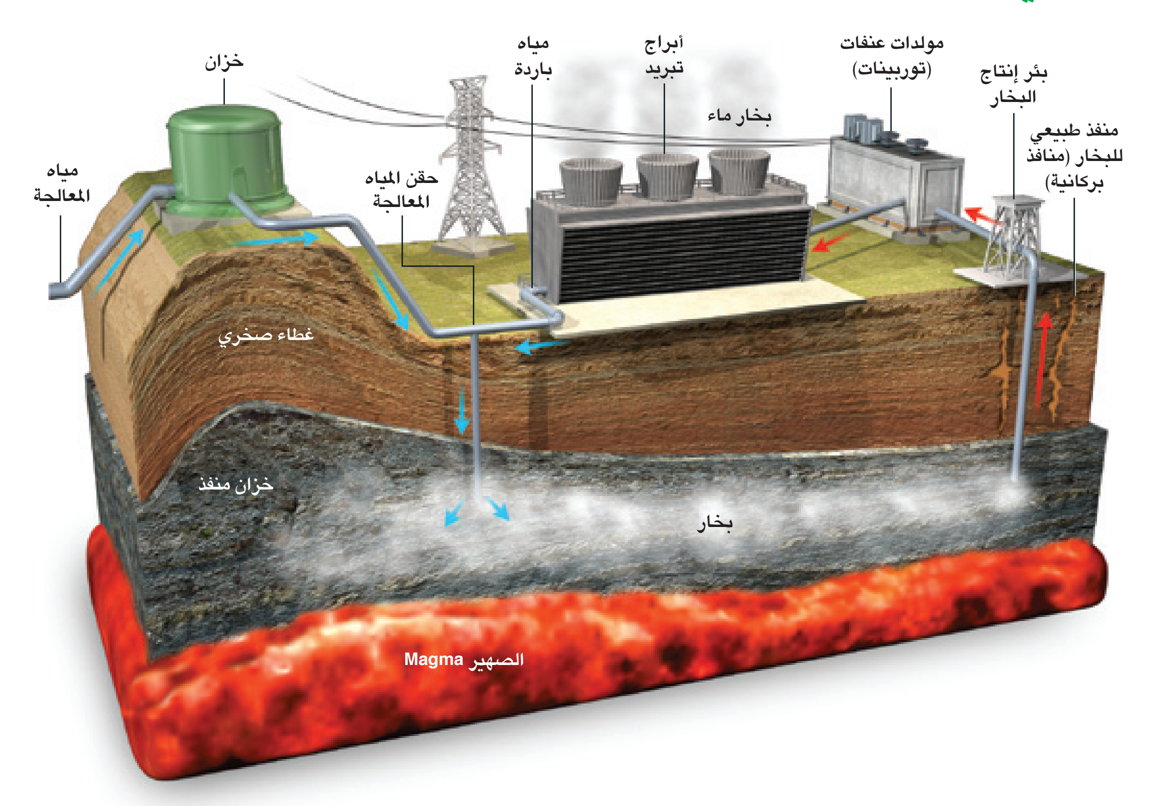
ويفتخـر المسـؤولون فـي المقاطعتين بالإنجاز البيئي للمشـروع، كما يفتخرون بالدرجـة نفسـها بالرضـى الذي تحقق فـي المجالـين القانوني والمـادي. ويقول <D. كارلسـون>: «إن هذه القرارات كانت قرارات ذات صبغة تجارية. فكلما وجدنا حلا أقـل تكلفة، فـإن ذلك سيسـاعدنا ويساعد شركة كالپاين.»

(*) THREE PROBLEMS, ONE SOLUTION

[كيفية حقن المياه الجوفية]

حقن حياة جديدة في محطات الطاقة الجيوحرارية(*)

يتم في حقول الينابيع الساخنة حقن المياه المعالجة في الصخور المنفذة (*في اليسار*)، حيث يتم تحويلها بالحرارة الناجمة عن الصهير إلى بخار مضغوط يستخدم لإدارة العنفات التي تولد الكهرباء. ويتم تجميع ما يتكثف من بخار ماء وإعادة حقنه في الطبقة المنفذة.



مسقط رأس صناعة(**)

إن كيفية فقدان الينابيع السخنة لبخارها تعود إلى سنوات من الإفراط في استغلالها (الاستهلاك الجائر لمورد طبيعي). فقد كان هسيسها يسمع منذ آلاف السنين، وهذه الينابيع هي جزء من التكوين الجيوحراري الكائن إلى الشرق من صدع سان أندرياس. حيث يوجد تكوين من الصهير على عمق يزيد على 5 أميال عن سطح الأرض وهو الذي يرفع درجة حرارة طبقة الصخور التي تعلوه مما يؤدي إلى غليان الماء المتجمع في طبقة الصخور الرملية الداكنة والمنفذة، حيث يتصاعد البخار كالفقاعات عبر المسامات الضيقة فيها ليُحتجز في الطبقة الصخرية العلوية غير المنفذة فيما عدا الشقوق الشعرية التي تؤدي إلى السطح ليتصاعد البخار من خلالها إلى الهواء الجوي مكونا ما يشبه أعمدة من البخار.

لقد أمكن الاستعاضة عن انبعاث ما يعادل مليوني رطل من غازات الدفيئة سنويا بمحطة إنتاج كهرباء نظيفة بطاقة 200 ميگاوات.

وفي عام 1847 سمى <W. B. إليوت>، الذي كان ضمن فريق استكشاف كبير، هذه المنطقة بالينابيع الساخنة. ولكنها في الحقيقة هي منافذ بركانية، فالينابيع الساخنة هي مياه ينابيع تتدفق وتتصاعد في الهواء. ولكن الاسم باق حتى الآن. وعندما انتشر الخبر؛ تدفق السياح وكان من بينهم <J. P. مورگن> والرئيس <U. S. گرانت> و<Th. روزڤلت>. ولكن في ثلاثينات القرن الماضي انهارت تجارة السياحة إثر حرائق في فنادق المنطقة وانزلاقات طينية ومن ثم الحرب العالمية الثانية.

وفي حين كان الزوار يشبعون أجسادهم بالبخار مما جعل بعضهم يشعر بأنهم ملائكة بالفعل (كون بخار الماء الأبيض يلف أجسادهم عندما يمرون خلاله) كان <J. D. گرانت> (وهو ليس گرانت الرئيس) يبني أول محطة لإنتاج الطاقة الجيوحرارية في

(*) INJECTING NEW LIFE INTO GEOTHERMAL POWER
(**) BIRTHPLACE OF AN INDUSTRY

الولايات المتحدة من الينابيع الساخنة. وفي عام 1921 تمكن من استكمال إنشائها. وعلى الرغم من حدوث انفجارات في الأنابيب وانهيارات في بعض الآبار إلا أن <گرانت> تمكن من إنتاج 250 كيلوواط من الكهرباء، وقد كانت هذه الطاقة كافية لإضاءة المنازل والشوارع في المنتجع. وبحلول عام 1960 جعلت التطورات الفنية الطاقة الجيوحرارية تنجح على نطاق تجاري أوسع من ذلك بكثير. فقامت شركة الپاسفيك للغاز والكهرباء بحفر آبار ومد أنابيب في الطبقة الصخرية العليا وبناء محطة إنتاج كهرباء بطاقة إنتاجية تصل إلى 11 ميگاواط. وفي السبعينات والثمانينات من القرن الماضي قامت شركات أخرى ببناء محطات مماثلة. وفي عام 1987 وصلت الطاقة الإجمالية المنتجة إلى 2000 ميگاواط - وهي كافية لتمد نحو مليوني منزل بالكهرباء. وقد دخلت شركة كالپاين المنطقة في عام 1989، وهي تدير الآن 19 محطة من مجمل 21 محطة في منطقة الينابيع الساخنة وعلى بقعة مساحتها 40 ميلا مربعا رُصِّعت بمئات الآبار المنتجة لبخار الماء.

تناقص كميات البخار(*)

لقد أدى تزايد حفر الآبار في المنطقة إلى تناقص كميات البخار المتصاعدة من الينابيع الساخنة، ولم يكن بالإمكان لمياه الأمطار أن ترشح عبر حقول الصخور الرملية بالسرعة الكافية لإعادة شحن الخزان. ومع حلول عام 1999 كان معدل إنتاج البخار قد انخفض إلى مستويات متدنية مما حدا بالمسؤولين في شركة كالپاين للسعي إلى إيجاد مصدر للمياه يمكن استخدامه في شحن الخزان. وقد شكل خط الأنابيب من مدينة سانتا كروز (البالغ تكلفته 250 مليون دولار) تحديا مهنيا مقارنة بخط الأنابيب من مقاطعة ليك كاونتي الذي منسوبه مقارب لمنسوب



أحد سكان المنطقة وهو <ل. گوسب> ومجموعة من النشطاء الذين يقطنون بالقرب من محطات القوى يطالبون بتغيير عمليات إنتاج الطاقة من باطن الأرض للحد من احتمالات وقوع الزلازل والتي ارتفع معدل حدوثها.

حقول كالپاين. ولجَرِّ مياه الصرف الصحي من سانتا روزا إلى الينابيع فقد تَطلّب إنشاء خطوط أنابيب تعبر ما تحت شوارع المدينة والمناطق السكنية والحقول قبل البدء بصعودها إلى ارتفاع 3000 قدم في جبال ماياكامس.

ويقول <M. شيرمان> [مدير العمليات في مشروع سانتا روزا]: «إن المهندسين سعوا إلى أن يكون خط الأنابيب غير ظاهر للعيان فهي منطقة حساسة للأمور البيئية ونحن ملتزمون بذلك». وعند قيادة سيارة عبر الطريق الذي يمتد إلى 40 ميلا من محطة لاگونا لمعالجة مياه الصرف الصحي فإن هذه السيارة تَمرُّ عبر حقول التفاح البري التي تليها أشجار البلوط، ويتعرج الطريق مرتفعا ليصل إلى جبال ماياكامس. إن معظم هذه المنطقة هي محمية طبيعية تديرها مؤسسة الأودوبون في فرع كاليفورنيا.

ويقود طريق ضيق شديد الانحدار إلى هضبة يشرف عليها خزان جرى طلاؤه بلون أخضر داكن سعته مليون گالون

(*) RUNNING OUT OF STEAM

من ميــاه الصرف الصحي المعالجة ثلاثيا التي تشــمل مرحلة الترسيب للتخلص من الشــحوم والمواد العالقة، ومرحلة المعالجة البيولوجيــة لإزاحــة المغذيــات والمركبات المضافــة، ثم مرحلة الترشــيح بواســطة المرشــح الرملي والكربون المنشــط لإزالة مــا تبقــى من المــواد العضويــة وبيوض الطفيليات، كما تُعرَّض المياه للأشــعة فوق البنفسجية للقضاء على أية بكتيريا متبقية في المياه المعالجة قبل ضخها.

وســنويا تُنفق شركة كالپين ما قيمته 2.5 مليون دولار سنويا من الطاقة الجيوحرارية لضخ المياه المعالجــة إلى الخزان، حيث يتم تخزينها قبل ضخها في باطن الأرض. وعلى بعد نحو نصف ميل تعمل محطات القوى على توجيه البخار المســتخرج من باطن الأرض لإدارة العنفات الخاصة بتوليد الكهرباء قبل أن يتكثف إلى ماء يتم تجميعه في أبراج على شــكل أقماع تمهيدا لإعادة حقنه في باطن الأرض. وبالنســبة إلى أكبــر محطة لإنتاج الطاقــة الجيوحرارية في العالم، فهي عبارة عن لوحة ريفية سيريالية لا يحدّ من هيمنتها سوى أصوات المكائن التي يحملها النسيم.

قلق من الزلازل(*)

وبالنســبة إلــى الســكان القاطنين في المناطــق المحيطة بموقع الإنتــاج وفي دائرة قطرهــا نحــو 20 ميلا، فــإن الوضع ليس بهذا الهدوء. فمنذ أن بدأت شــركة كالپاين بضخ المياه المعالجة في باطن الأرض لاحظ ســكان المنطقة ازدياد النشاط الزلزالي في منطقة الينابيع الســاخنة بنسبة 60 في المئة منذ عام 2003. أما بالنسبة إلى سكان قرية آندرسون ســپرنگز التي تبعد أقل من ميل واحد عن المنشــآت، فقد سجلت 2562 هزة أرضية خلال الفترة نفســها، منها 24 هزة تجــاوزت 4 درجات رِخْتر. ومــع أن معظم هذه الهــزات لم تحدث أية أضــرار إلا أن بعضها قد تسبب في اهتزازات الأرفف في المنازل وتشققات في أساسات بعض المباني حسب مشاهدة <H. هس> [الأستاذ المتقاعد من جامعة سان فرانسيسكو] والذي يتردد على المنطقة منذ عام 1939. ويشــرح سُكّانٌ آخرون ذلــك أنه ليس مجرد مصدر إزعاج، فهم قلقون أيضا من ســماع الفرقعات التي تصلهــم عبر الوادي، ويقول <J. جوســب> [رئيس اتحاد مقاطعة آندرســون سپرنگز]: «إنه عندما تحدث هزات فهي تصدر أصواتا وكأنها انفجارات تحت منازلنا.»

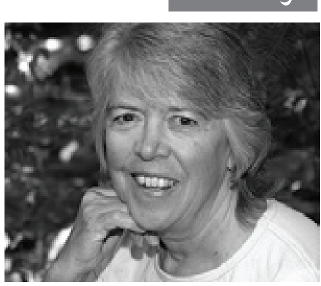
وفــي عــام 2009 وجــد ســكان المنطقة أنفسهم أمام احتمالات أكبر لحدوث الزلازل نتيجة لمشروع تجريبي خارج منطقة الينابيع ولكنه على بعد ميلين فقط من قرية آندرسون ســپرنگز. وقد بدأت شــركة ألتاروك للطاقة ومقرها مدينة سوســاليتو بالحفر على عمق ميلين لإحداث شــقوق في الطبقة الصخرية الحارة بهدف استخراج البخار.

إن مشروعا مشابها نفذ في مدينة بازل السويسرية قد تسبب في هزة أرضية بقوة 3.4 درجــة، وهي متوســطة الشــدة حيث أحدثت أضرارا قدرت بثمانية ملايين دولار. ولكن المسؤولين بشركة ألتاروك يقولون إن مشروعهم في مقاطعة ليك كاونتي يختلف بالنســبة إلى الطبيعة الجيولوجية للمنطقة وبُعْــد المســافة عــن الصــدوع الزلزالية الرئيســية. ويضيف هؤلاء أن التقانة التي يتبعونها تختلف عن تلك التي اســتخدمت في بازل. ولكن سُــكّان المنطقة اســتمروا بالاحتجاج معلنــين عن وجود أخطاء وعن إخفاء معلومات في دراســة المردود البيئي التي أجرتها الشركة.

إن العلماء يزعمون بأن سحب البخار من الصهير في باطن الأرض يؤدي إلى انخفاض درجة حرارة الصخور وانكماشها. ويوضح المتخصــص بعلم الــزلازل <D. أوپنهايمر> [من وكالة المسح الجيولوجي الأمريكية] بأن الفراغات التي يتركها البخار المســتخلص، يمكن أن تؤدي إلى تهاوي الصخور محدثة

(*) EARTHQUAKES RAISE CONCERN


المؤلفة


Jane Braxton Little

هي كاتبة ومصورة تعيش في مقاطعة پلمرز بكاليفورنيا. وقد كتبت العديد من المجلات بما في ذلك مجلة الأودبون Audubon المتخصصة بالدراسات البيئية حيث تعمل.

هزات إضافية.

إن المسـؤولين الذيـن خططوا لمشـروع سانتا روزا توقعوا ازدياد النشاط الزلزالي، ولكن المدينة أَقّرت بأن فوائد المشـروع وهي التخلص من مياه الصرف الصحي المعالجة وتوليد الطاقـة النظيفة، تفـوق القلق الذي تحدثه هذه الهزات الأرضية البسيطة. ولكن هـذا غير مقنع للخمسـمئة قاطن في محيط المشروع في منطقة قطرها 20 ميلا، إذ يقول ‹هس›: «إن المسؤولين في سانتا روزا ليسوا من القاطنين في المنطقة المتأثرة.»

ويشـعر ‹هس› وآخرون مـن المنطقة بالقلق من مشـاريع التوسـع المخطط لها من قبـل مدينة سـانتا روزا ومقاطعة ليك كاونتـي. ويرد ‹أوپنهايمـر› على احتمال أن تؤدي هذه الزلازل الصغيرة إلى حدوث الـزلازل الأكبر بأن «ذلك غيـر وارد». إن التوسع في إنتاج البخار سيؤدي إلى زيادة الهـزات بقوة درجتين أو أقل، ولكن حدوث زلـزال بقوة 8 درجات يتطلب وجود صدع رئيسـي، بينما ليسـت في منطقة الينابيع سوى شقوق صغيرة والدليل على ذلك أنه خـلال الثلاثين عاما الماضية لم تُرصد أي زلازل تفوق الـ4.5 درجة.

لقد أدى مشـروع ألتـاروك إلى إحداث قلق متزايد مما دفع الوكالات الفيدرالية في الشهر 2009/7 إلى اتخاذ قرار بالتحفظ على المشروع إلى أن يتم إجراء مراجعة علمية له لتحديد احتمالات حدوث زلازل كبيرة. ولكن في الشـهر 2009/12، أعلنت شركة ألتاروك أنها تخلت عن المشـروع. كما أعلنت وزارة البيئة عن متطلبات إضافية لسلامة مشاريع تطوير الطاقة الجيوحرارية.

تعميم الفوائد(*)

إن إنتـاج 200 ميگاواط من الكهرباء من خـلال حقن مياه الصرف الصحي المعالجة في مدينة سـانتا روزا وليـك كاونتي يعني عـدم إنتاج بليون باوند مـن غازات الدفيئة سنويا، وهو ما تنتجه محطة لإنتاج الكهرباء تعمل بالفحم الحجري لتوليد الكمية نفسها من الكهرباء. كما أن المدينة والقرى المحيطة قد توقفت عن ضـخ مياه الصرف الصحي المعالجة إلى نهر رشـن وبحيـرة كلير ليك واستغنت عن بناء محطات معالجة وخزانات كبيرة لاسـتيعاب هذه المياه. ولكون شـركة كالپايـن لا تسـتخدم مياه النهر مباشـرة لإنتـاج الطاقة، فإن ذلـك يعني ترك كميات أكبر من مياه النهر للأسماك.

أما بالنسـبة إلى الرواد والعلماء الذين يطمحون إلى التوسـع في مشـاريع الطاقة الجيوحرارية إلى مناطق أخرى في الولايات المتحدة، فإن تجربة شركة كالپين تمثل ثروة من الخبرة والتجربة العملية؛ إلاّ أن ما حدث لشـركة ألتاروك قد يَحدُّ من الحماس للحفر العميـق في مناطـق ليس فيها أي نشـاط جيولوجي حتى وإن كان ذلك قد يحول دون توليـد أكثر من 100 000 ميگاواط من الطاقة الكهربائية في الولايات المتحدة، وذلك على حدّ قول ‹J. تستر› [أستاذ الطاقة المستدامة في جامعة كورنل]. هذا علما بأن إدارة الرئيس ‹أوباما› قـد خصصـت 350 مليون دولار لتمويل مشـاريع الطاقة الجيوحرارية، منها 80 مليون دولار لمشاريع الطاقة الجيوحرارية المطورة، مثل مشروع الينابيع الساخنة.

وبالنسـبة إلى العديد من المناطق التي ليس لديها موارد مائيـة متاحة للحقن في باطن الأرض، فإن تجربة الينابيع الساخنة في استخدام مياه الصرف الصحي المعالجة لهـذه الغاية يمكن أن تكـون مثالا يحتذى بـه. حيث ثبت أن ميـاه الصرف الصحي المعالجة يمكن أن تكون من الناحية التجارية مصدرا بديلا ناجحا للميـاه الطبيعية في إنتاج الطاقة من باطن الأرض، وذلك حسب قول ‹كارسـون› وهو بالطبـع متفائل، إذ يضيف: «بأن الفائدة ستعم السكان والبيئة ويمكن للعالم استخدامها كنموذج لتحسين أوضاع مناطقهم.» ■

(*) EXPANDING THE BENEFITS

مراجع للاستزادة

A Geysers Album: Five Eras of Geothermal History. Susan F. Hodgson. California Department of Conservation, Sacramento, 1997.

Santa Rosa Geysers Recharge Project. California Energy Commission, 2002. Available at **www.energy.ca.gov/reports/2003-03-01_500-02-078V1.PDF**

The Future of Geothermal Energy: Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century. An assessment by an MIT-led interdisciplinary panel. MIT, 2006. Available at **http://geothermal.inel.gov/publications/future_of_geothermal_energy.pdf**

Scientific American, July 1010

الحياة الخفية للكمأة «الفقع»(*)

للكمأة أهمية جوهرية في نطاق سلامة النظام البيئي، فهي أكثر من مجرد متعة للمتذوقين.

‹J. M. ترابي› – ‹W.A. كلاريدج›

إنه يوم بارد في الشهر 11 في بولولينا بإيطاليا، تجولنا فيه عبر الغابات برفقة صياد الكمأة ‹ميركو أليس› وكلبه الصغير كلنتو. يجري كلنتو بين أشجارالبلوط ويشمّ الأرض ويتوقف ثم يجري مرة أخرى ويقف فجأة فيبدأ بالحفر بقوة بباطن قدميه. «آه، لقد وجد كمأة إيطالية بيضاء» يشرح ‹ميركو›: «إنه يستخدم كلا باطن قدميه فقط عندما يجد واحدة منها». وبرفق يسحب ‹ميركو› الكلب المبتهج من الموقع وينبش التربة بأصابعه. استخلص ‹ميركو› كومة بنية مصفرة بحجم كرة الگولف وشمها، وهو يقول: «مرحى يا كلنتو». ومع أن هذه **درنة ماگانتوم** *Tuber magnatum* التي تنمو فقط في شمال إيطاليا وصربيا وكرواتيا – ليست بأفضل ممثل لنوعها، إلا أن صيدا كهذا سيجلب له سعرا جيدا يقدر بـ 50 دولارا في سوق السبت.

وعبر التاريخ، ظهرت الكمأة في الموائد وفي الفلكلور الشعبي. وقدمها الفرعون ‹خوفو› على مائدته الملكية. اصطاد البدو والبوشمان في الكالاهاري وسكان أستراليا الأصليين الكمأة في الصحراء لأجيال عديدة. تذوقها الرومان واعتقدوا أنها نتيجة حدوث الرعد.

ثمّن الذواقة العصريون الكمأة لنكهتها ومذاقها الأرضيين. وهم مستعدون لدفع مبالغ باهظة وصلت حديثا في السوق إلى أكثر من 3000 دولار لكيلو غرام من الكمأة الإيطالية البيضاء. وعلى الرغم من اهتمام البشر المستمر بالفطور، إلا أنه مازال هناك الكثير حولها في عالم الغيب. ومع ذلك، تبين في العقدين الماضيين من التحليل الوراثي والملاحظات الحقلية منشأ ووظائف هذه الكائنات، إذ اتضح دورها المفتاحي في الكثير من الأنظمة البيئية. إن هذه المعارف هي استراتيجيات واعية تخدم المحافظة على بعض الأنواع المهددة.

فِطْر بَيْنَنَا(**)

الكمأة **كالفطر** mushroom ثمرة فطر. فهذه الأعضاء اللحمية (الممتلئة) هي بنى تكاثرية مؤقتة مولدة **للأبواغ**(1) التي قد تنمو وتعطي ذرية جديدة. وما يميز الكمأة من الفطر هو ثمارها الطارحة للأبواغ التي تتشكل تحت سطح الأرض لا فوقها. وتقنيا، الكمأة الحقيقية هي تلك الفطور التي تتبع شعبة **الزقيات الكيسية** Ascomycota، وهي تُسَوّقُ كغذاء. إلا أن هناك فطورا تشبه الكمأة أو «كمأة مزيفة» في شعبة **الفطور الدعامية** Basidiomycota، وهي تحاكي وظيفيا الكمأة الحقيقية. ونظرا لهذا

(*) THE HIDDEN LIFE OF TRUFFLES
(**) A Fungus among Us
(1) spores ج: بوغة = جرثومة أو خلية دقيقة. (التحرير)

مفاهيم مفتاحية

- تمثل الكمأة التي تظهر في قوائم المطاعم وأرفف محلات الأطعمة الراقية أحد الأنواع الكثيرة للكمأة.
- تنخرط الكمأة كعامل مهم داعم للنباتات والحيوانات في النظام البيئي.
- يسهم تعرف الأهمية البيئية للكمأة في جهود المحافظة على الأنواع المهددة التي تعتمد على الكمأة.

محررو ساينتفيك أمريكان



التشابه اصطلح على تبني الاسم ذاته وهو الكمأة لجميع الفطريات اللحمية التي تثمر تحت الأرض.

فالمحاولات العلمية للكشف عن أسرار الكمأة تعود إلى عام 1800 عندما سأل ألمان طمحوا بزراعة الكمأة عالم النبات <A. B. فرانك> عن كيفية تكاثر هذا الغذاء اللذيذ. بيّنت دراسات <فرانك> أن هذا الفطر ينمو على جذيرات صغيرة للأشجار تستخدم لامتصاص الماء والمغذيات في الأرض. وبناءً على هذه الملاحظات، اقترح وجود علاقة تكافلية بين الكائنين بحيث يوفر كل واحد للآخر المغذيات. وكذلك افترض بأن هذه العلاقة بين الفطريات تحت سطح

[الأهمية البيئية]

الفطر الأساسي(*)

للكمأة أهمية في الكثير من الأنظمة البيئية، وهي مفيدة لكل من النباتات والحيوانات. ففي الغابات الشمالية الغربية بجانب المحيط الهادئ، مثلا تساعد كمأة ريزوبوكن *Rhizopogon* أشجار دوگلاس فير **Douglas-fir** على الحصول على الماء والمغذيات التي تحتاج إليها. وهي تخدم كذلك كمصدر رئيسي لغذاء السنجاب الطائر الشمالي، الذي يمثل الفريسة المفضلة للبومة الشمالية المنقطة المهددة بالانقراض. فالمحافظة على مواطن البوم، تتطلب ضمان ظروف مناسبة للكمأة.



جذر شجرة
كماة
خيوط فطرية

شارع بمسارين

تشكل الكمأة علاقة تكافلية مع النباتات عبر شبكات من الألياف الدقيقة تسمى الخيوط الفطرية **hyphae**. تلك تنمو بين الجذيرات الصغيرة للنبات لتشكل عضوا مشتركا يسمى الفطرالجذري الخارجي ويُمكّن هذا الشريك من توفير المغذيات التي يعجز عن الحصول عليها بنفسه.

جذر الشجرة
خيوط فطرية

الأرض والنباتــات علاقــة شـــائعة، وبأنها تؤثر في نمــو وصحة الكثير من الجماعات النباتيــة. فنظريات ‹فرانــك› تتعارض مع مــا هــو متعارف عليه عــن الكمأة والفطور الأخــرى - وبالتحديــد، أن جميعها يجلب المرض والعفن للنباتات - وأثارت معارضة لا بأس بها من قبل زملائه. وقد انقضى قرن قبل أن يحصل الباحثــون على دليل قاطع بأن ‹فرانك› كان محقا منذ ذاك الحين.

تُنتِج جميع الكمأة والفطور شـبكات من الخيوط الفطرية التي تنمو بين جذيرات النبات لتشــكل عضــو امتصاص مشــترك يعرف **بالميكوريــزا** mycorrhiza. ومــن خلال هذا الربط يوفر الفطر للنبات المغذيات النفيســة والماء. وخيوطه الفطريــة الدقيقة قادرة على الوصــول إلى جيوب التربة التي يعجز نبات له جذور أكثر طولا عن الوصول إليها. ويزود النبات شريكه بالسكريات والمغذيات الأخرى التي تتكون عبر عملية **التمثيل الضوئي**(1) - نواتج يحتاج إليها الفطر ويعجز عن إنتاجها بنفسه لأنه لا يقوم بالتمثيل الضوئي. وأهمية هــذه الشــراكة تصل إلى درجــة أن جميع الأشجار تقريبا والنباتات الخشبية الأخرى تعتمد عليها من أجل البقاء؛ كما يعتمد عليها **الفطــر المرتبط**(2). وتعمــل معظم النباتات العشــبية (تلك التي لا تمتلك ســاقا خشبية

(*) Fundamental Fungus
(1) photosynthesis
(2) the associated fungi

دائما فوق الأرض) على تشكيل الميكوريزا أيضا، ولكن مع فطور مختلفة.

يُشكل الكثير من الأنواع الفطرية، بما في ذلك جميع تلك التي تعطي كمأة، نمطا متباينا من الميكوريزا الجذري يسمى **الفطر الجذري الخارجي** ectomycorrhiza، حيث يغلف الفطر الجذيرات المغذية بأنسجة حامية خارجية. فالتنوع في هذه الفطور الجذرية الخارجية مذهل: قَدَّر أحدنا (<ترابي>) عددها بنحو 2000 نوع جميعها يرتبط بالنوع **دوگلاس - فير** Douglas Fir (دائمة الخضرة، والتي تستخدم كمصدر خشب وكشجرة عيد الميلاد). وغالبا ما يتشارك هذا العدد الهائل أو حتى أنواع أكثر مع أشجار **الأوكاليبتوس** eucalyptus الأسترالية فقط. ويعتمد العديد من أنواع الأشجار التجارية وأخرى ذات الأهمية البيئية على فطور جذرية خارجية. وغالبية هذه الفطور تثمر فوق الأرض كالفطر، إلا أن عدة آلاف منها تنتج كمأة.

انسحاب (الكمأة) إلى الأسفل(*)

تشير مقارنات الشكل وتتالي أسس الجينات في أنواع الكمأة وأنواع الفطر إلى أن معظم الكمأة قد تطورت من الفطر، وبما أن الكمأة كي تتكاثر وتنشر أبواغها تحتاج إلى أن تكون موجودة فوق الأرض، نتساءل عَمّا دفع **الانتقاء الطبيعي**(1) natural selection إلى تطوير أنواع مختلفة تختبئ تحت سطح الأرض؟ وعلى الرغم من إظهار الفطور لتراكيب وألوان متعددة، إلا أن جميعها تمتلك أجساما ثمرية قادرة على إطلاق الأبواغ مباشرة إلى الهواء. تهبط الأبواغ التي يحملها الهواء قريبا أو بعيدا لتنمو. وقد تُشَيِّد مستعمرة جديدة بالاشتراك مع جذور النباتات المضيفة المناسبة. إنها وسيلة فعالة جدا.

ومع ذلك، فإن استراتيجية الفطر ليست مضمونة. ومعظم الفطور تمتلك دفاعات قليلة ضد الأخطار البيئية، مثل الحرارة والجفاف والرياح والجليد وحيوانات الرعي. وكل يوم تُنضَج أبواغ قليلة وتنتر. إلا أن إنتاج أبواغ الفطر يتوقف عادةً في حال جف الفطر أو تجمد بفعل الطقس العاصف.

أينما تنتشر تلك الأخطار تتولد تكيفات تطورية. ويمثل البديل الأكثر نجاحا إثمار الفطر تحت سطح الأرض. وطالما أن التربة رطبة بدرجة كافية لتشكل الأجسام الثمرية تحت سطح الأرض تبقى الفطور معزولة عن تأثير طقس قاس. وتتطور الكمأة بحصانة نسبية، مستمرة بإنتاج وتغذية أبواغها حتى ولو أصبحت الظروف فوق سطح الأرض غير مقبولة للفطر. وقد يبدو للوهلة الأولى أن حل الكمأة للمشكلة سهل. ومن الواضح أن شكل الكمأة أقل تعقيدا من الفطر. فالفطور لم تعد بحاجة إلى صرف الطاقة المطلوبة لدفع أنسجتها الحاملة للأبواغ فوق الأرض على ساق، أو أن تطور قبعة أو بنى أخرى لإنتاج وتحرير الأبواغ. وليست الكمأة إلا مجرد كتلة من الأنسجة الحاملة للأبواغ، مغلفة عادة بجلد يحميها.

والمشكلة هي أن الكمأة عاجزة عن تحرير أبواغها بنفسها، فهي مقيدة في عالمها أسفل سطح الأرض. وتتطلب هذه الحالة نظاما بديلا لنشر الأبواغ. وهنا يظهر التعقيد في مخطط الكمأة. فعبر ملايين السنين لدى انسحاب الكمأة إلى الأسفل نجم عن الطفرات تكوين مركبات عطرية جذابة للحيوانات. وكل نوع من الكمأة يمتلك مجموعته الخاصة من العطريات التي تغيب بشكل كبير في العينات غير الناضجة

آكلات الكمأة(**)

الحيوانات في الأسفل هي من بين الكثير التي تتغذى بالكمأة.



الكنگر - الجرذي الطويل الأقدام
يوتورو Potoroo



الميركات



الكيوي العظيم التنقيط



قرد البابون شاكما



الدب الگريزلي

(*) Going Under
(**) TRUFFLE EATERS
(1) أو الاصطفاء الطبيعي. (التحرير)

[التنوع العالمي]

أين تنمو الكمأة(*)

تعد أنواع الكمأة بالآلاف: توضح الخريطة المواقع النموذجية لأماكن نمو الكمأة البريّة الوارد ذكرها في هذه المقالة. ويوجد أكبر تنوع معروف منها في المنطقة الأوروبية المطلة على البحر الأبيض المتوسط، والشمال الغربي لأمريكا وأستراليا - وهي مناطق تتسم غالبا بالبرودة، حيث الشتاء الممطر والصيف الجاف الدافئ. وبفضل نمطها الحياتي تحت سطح الأرض، تحتمي الكمأة من الحرارة والجفاف والصقيع الذي قد يحدث عندما تنتج الفطريات ثمارها.







پاوروكوتيليس پيلا

غزاة ومحتالون(**)

تهديد غاز لكمأة پيرگورد السوداء: الكمأة الصينية السوداء. منذ فترة طويلة والباحثون قلقون من قدرة الكمأة الصينية، المحبة للقلب والمتكيفة، على الانتشار في منطقة نفوذ كمأة پيريگورد الدقيقة، أو حتى اكتساحها لهذه المنطقة. ففي عام 2008 نشر C> موران [من جامعة تورينو] وزملاؤه ما يؤكد أن هذه المخاوف تحققت: إذ فحص الفريق عينات الدنا DNA من قمتي جذر الكمأة پيريگورد والكمأة الصينية وتربة مشتل الكمأة الإيطالية.

يُحاول المزودون المحتالون أحيانا تمويه الكمأة الصينية الأكثر تداولا وتسويقها كأندادها النادرة والألذ مذاقا، وذلك بخلط مقادير صغيرة من كمأة پيريگورد مع الصنف الصيني من خلال إعطاء الأخيرة الرائحة المناسبة. وقد استخدم تحليل الدنا لتمييز وجود الكمأة الصينية المزيِّفة للنوع پيريگورد.

وتزداد أو تنشأ مع نضوج الأبواغ.

ومن بين آلاف أنواع الكمأة الموجودة اليوم، هناك مالايزيد على دستات عدة فقط يستسيغها الإنسان. أما باقي أنواع الكمأة فإما صغير جدا أو صلب، أو يحتوي على معطرات وإما لايمكن شمها أو تكون منفرة بكل معنى الكلمة؛ ومع ذلك تعجز الحيوانات عن مقاومتها فجاذبيتها الشمية آسرة من خلال رائحتها التي تفوح من التربة. فالثدييات الصغيرة كالفئران والسناجيب والأرانب في نصف الكرة الأرضية الشمالي، إلى جانب الكنگار والجرذ و**الأرماديلوس** armadillos و**الميركات** meerkats في نصف الكرة الأرضية الجنوبي، تمثل المتذوقات الرئيسة للكمأة. إلا أن نظائرها الكبيرة الحجم - الغزال والدببة وقردة البابون و**الولابي** wallabies هي من بين أخريات - مما تبحث أيضا عن الفطور المخفية. فالرخويات أيضا تنجذب إلى الكمأة. وقد تتغذى الحشرات بالكمأة أو تضع بيضها عليها بحيث يتوفر ليرقاتها مصدر غذاء حالما تفقس.

وعندما تأكل الحيوانات الكمأة يتم هضم معظم الجزء اللحمي (الممتلئ)، إلا أن الأبواغ تمر عبر الجهاز الهضمي دون أذى وتطرح على الأرض، حيث يمكنها النمو في حال توفرت الظروف الملائمة. فنظام البعثرة هذا له أفضلية مقارنة بالنظام المعمول به عند الفطور. إذ يركز البراز الأبواغ على نقيض نظام البعثرة المشتت الذي يعتمد النشر الهوائي. ومن المرجح أن يطرح البراز في الأماكن ذاتها التي تعتلف فيها الحيوانات على الكمأة، (بخلاف النقل الأكثر عشوائية

(*) Where Truffles Grow
(**) INVADERS AND IMPOSTORS

للأبواغ الذي يعتمد الهواء). هذا التشابه في البيئة مفيد للكمأة لأنه يزيد من احتمالية أن تهبط الأبواغ في أماكن ذات أنواع ملائمة من النباتات يمكن أن يتشارك معها فطر جذري (ميكوريزا).

ومع ذلك، لا تعتمد جميع أنواع الكمأة على الرائحة في جذب الحيوانات إليها. ففي نيوزيلندا، التي تفتقر إلى ثدييات برية أصيلة، طوّرت بعض أنواع الكمأة تدرج لون قوس القزح الذي يحاكي ألوان الفواكه المحببة لدى الطيور المحلية. وكمأة **بوروكوتيلس بيلا** *Paurocotylis pila*، تظهر من جوف التربة إبان تمددها وتستلقي على أرضية الغابة بحيث تشبه الكمثرى، وقاعدة الحبوب الممتلئة تشبه **التوت الأحمر** red berry في أشجار **بودوكوربس** *Podocarpus* التي تفضلها الطيور. ومع أن هذه الفطور الملونة تندفع فوق التربة، إلا أنها تعد كمأة لأن الأنسجة الحاملة للأبواغ مغلفة بجلد، مما يجعلها تعتمد على الحيوانات في نشر أبواغها.

وهناك حتى الآن آلية أخرى للنثر تطورت لدى مجموعات قليلة من الكمأة، تميزت من بينها أعضاء من العائلة **الإلافوميستاسي الفطرية** Elaphomycetaceae المنتشرة في كل مكان والعائلة **ميزوفيلياس** Mesophelliaceae، المستوطنة في آسيا وأستراليا. وتنضج أبواغ هذه الكمأة وتتحول إلى مسحوق عوضا عن أنسجة لحمية حاملة للأبواغ. ومسحوق النوع *Elaphomyces granulatus*، على سبيل المثال، مغلف بقشرة خارجية سميكة تأكلها الحيوانات مما يحرر الأبواغ. تمتلك بعض **الميزوفيلياس** Mesophelliaceae تراكيب متشابهة، بينما تمتلك أخرى مثل **ميزوفيليا جلوكا** *Mesophellia glauca* كتلة



حقائق سريعة

تحتوي الكمأة السوداء بيريكورد على أندروستينول **androstenol**، هرمون جنسي موجود في لعاب ذكور الخنازير. وهذا المركب موجود أيضا في الغدد العرقية لدى البشر.

منذ فترة طويلة استخدم صيادو الكمأة إناث الخنازير لتحديد الفطور تحت سطح الأرض، إلا أنهم تحولوا مع الوقت بشكل متزايد إلى الكلاب للمساعدة، ذلك لأن الكلاب أكثر استعدادا من الخنازير لتقبل غذاءً بديلا كمكافأة على محاولاتها.

وزيت الكمأة الأكثر توافرا في الأسواق مُنَكَّهٌ صناعيا بمركبات اصطناعية مثل 2,4 ثنائي كبريت البنتان **2,4 dithiapentane**، أحد الجزيئات العديدة التي تعطي الكمأة الإيطالية البيضاء نكهتها المميزة.

تحتوي بعض أنواع الكمأة على مركبات فعالة كمضاد للسل الرئوي؛ ولأنواع أخرى خصائص قوية كمضاد للالتهابات ومضاد للأكسدة.

من الأبواغ المسحوقية محفوظة بين قشرة رقيقة خارجية قاسية ولب داخلي قابل للأكل.

وحتى باستطاعة الأبواغ في الكمأة غير المأكولة التجول. إذ تتحلل بعد النضج إلى معلق في التربة تعوث فيه اليرقات. تتغذى اللافقاريات بهذه الأنسجة المتعفنة أو تمر عبرها ملتقطة أبواغا على طول الطريق. ترحل أبواغ الكمأة أيضا عندما تقبض المفترسات على الأنواع الصغيرة التي تتغذى بالكمأة: قد تحمل طيور البوم والصقور قوارض ممتلئة بالكمأة لمسافة معتبرة إلى أعشاشها أو مخابئها حيث تأكل فريستها كاملة أو تنزع أحشاءها وترميها. وفي جميع الأحوال، تعود الأبواغ إلى التربة حيث تعطي كمأة جديدة.

معا إلى الأبد(*)

لقد كانت تجارب تطور الكمأة في نصف الكرة الأرضية الشمالي والجنوبي متشابهة إلى درجة ملحوظة. وذلك على الرغم من حدوثها بعد مضي فترة طويلة من انفصال القارات. فالنباتات العائلة للكمأة في هذه المناطق تختلف تماما: ففيما تتشارك كل من الصنوبريات والران والبلوط، على سبيل المثال، مع الكمأة في الشمال، يؤدي كل من الإوكاليبتوس والران الجنوبي هذا الدور في الجنوب. كذلك تختلف الكمأة وأنواع الحيوانات وتتمايز بين نصفي كرتي الأرض. إلا أن الأنظمة البيئية ومكوناتها – الأشجار والكمأة والحيوانات – تعمل إلى حد كبير بالطريقة ذاتها.

ويظهر التنوع الأكبر المعروف للكمأة في المناطق المعتدلة من البحر المتوسط الأوروبي

(*) Together Forever

وفي غرب شمال أمريكا وأستراليا (علما بأن معظم آسيا وإفريقيا وجنوب أمريكا تمثل مناطق غير مدروسة من قبل باحثي الكمأة). وفي هذه المناطق يسود مناخ بارد، ممطر في الشتاء ودافئ جاف في الصيف. تثمر الفطور في هذا المناخ في الربيع والخريف عادة؛ أي عندما يميل الطقس إلى التقلب. تجلب بعض السنوات موجات من الدفء والجفاف، فيما يأتي غيرها بالجليد؛ وكلاهما لايحبذهما الفطر. عمل الانتقاء الطبيعي بمرور الزمن على دعم الفطور التي لجأت في هذه المناطق إلى أسفل سطح الأرض.

لا نعلم بالضبط متى نشأت الكمأة الأولى، إلا أن العلماء حصلوا على بعض المؤشرات الدالة على زمن نشوئها. تعود الأحافير الأقدم المسجلة للفطر الجذري الخارجي إلى نحو 50 مليون سنة. فيما نشأت أسلاف الصنوبريات الحالية والأشجار الأخرى التي تتشارك معها الكمأة منذ نحو 85 مليون سنة. واستنادا إلى ذلك باستطاعتنا أن نخمن زمن ظهور الكمأة بأنه في الحقبة الفاصلة بين 85 و 50 مليون سنة مضت.

ونظرا للشراكة الطويلة الأمد بين الكمأة والنباتات، فليس بمدهش أن تحتل الفطور مركزا مهما في بيئة مواطن كثيرة. ولا تقتصر أهمية الكمأة على ضمان العمل السوي للعديد من الأنواع النباتية فحسب، إذ أصبحت كذلك مصدرا غذائيا تعتمد عليه الحيوانات. في الولايات المتحدة الأمريكية هناك مخلوق واحد على الأقل، جُرَذ الماء الغربي **محمر الظهر** red-backed vole، يعتمد اعتمادا شبه كلي على الكمأة في قوته. كذلك يأكل السنجاب الطائر الشمالي الموجود في شمال أمريكا غالبا الكمأة عندما تتوفر في البرية. وعلى الجانب الآخر من الكرة الأرضية، في أستراليا يعيش **المارسوپيل** marsupial والمعروف بالكنكار الجرذي الطويل الأقدام على غذاء يشتمل أيضا في 95 في المئة منه على الكمأة. والمارسوپيل الأخرى، الكنگر - الجرذي الآخر والبندقوط يعتمدان أيضا كثيرا على الكمأة. وهناك مخلوقات أخرى كثيرة حول العالم تدعم قوتها الأساسي بهذه الفطريات.

إن تقدم معارف العلماء فيما يخص العلاقة الوثيقة بين الكمأة - عوائلها النباتية وحواملها الحيوانية - تقود مساعي كل من مربي الكمأة والمحافظين عليها سواء بسواء. ففي عام 1980 في ولاية أوريگن، بدأ <M. كاستالنو> [العامل في خدمة الغابات الأمريكية] و<M. أمارانتوس> [العامل في تطبيقات الفطور الجذرية] وزملاؤها بتجهيز مشتل للباذرات باستخدام أبواغ نوع الكمأة ***ريزوپوگن*** *Rhizopogon*، وذلك بهدف مساعدة الباذرات على مقاومة الجفاف في المزارع وظروف مغرضة أخرى. وللمضي قدما في هذا المسعى يمكن للمربين زيادة مردودهم من الكمأة لو أنهم استعاضوا عن كمأة الذواقين بالكمأة ريزوپوگن. وعلى سبيل المثال، يمكن لمزَارع أشجار أعياد الميلاد في الشمال الغربي من المحيط الهادئ أن تنتج منتوجا إضافيا من كمأة أوريگن البيضاء اللذيذة: درنة ***الگيبوسوم*** *gibbosum*. إلا أن محاولات تلقيح الأشجار بهذا النوع من الكمأة أعطت حتى الآن نتائج متباينة.

وخلال ذلك، استخدم أحدنا (<كلاريدج>) الكمأة للمساعدة على تحديد حجم جماعات الحيوانات المهددة في جنوب شرق أستراليا - علما بأن هذا شرط أولي لتطوير برامج لحماية هذه الأنواع واستعادتها الفعالة. لقد غُمِرَ دِثارٌ في زيت زيتون مشرب بمعطرات من الكمأة الأوروبية السوداء **پيريگورد**

المؤلفان



James M. Trappe Andrew W. Claridge

*<**ترابي**> عالم متقاعد من مؤسسة خدمة الغابات بالولايات المتحدة الأمريكية، وهو أستاذ علم الغابات في جامعة ولاية أوريگن. اكتشف أكثر من 200 نوع جديد من الكمأة في خمس قارات. ويتساءل حبيم؟ لماذا يذهب المرء لصيد الأسماك بدلا من البحث عن الكمأة.*

*<**كلاريدج**> عالم باحث متقدم في قسم البيئة والتغير المناخي المفاجئ والماء، في نيو ساوث ويلز (أستراليا) وهو زميل زائر في جامعتها بأستراليا. لقد درس العلاقات المتبادلة بين الثدييات والفطريات التي تتغذى بها لأكثر من 20 سنة. وهوايته المفضلة هي صيد الأسماك.*

Perigord (أحد الفطور المفضلة عند الإنسان) لجذب **الكنغر - الجرذ** potoroos والمارسوپيل الأخرى المحبة للكمأة وَوُضِع في مواقع صورت فيها الحيوانات بواسطة كاميرات رقمية حساسة للحركة. فهذه الوسيلة سمحت بتقصي الكثير من هذه المخلوقات حتى إنها بلغت 50 مرة كتلك التي تم تقصيها بواسطة طريقة المصيدة - القفص التقليدية. لو أن معدلات النجاح العالية هذه كانت نتيجة لاستخدام زيت الكمأة المستورد، الذي استخدم لكونه متوفرا في السوق، فماذا ستكون هذه المعدلات لو أن الحيوانات خضعت لرائحة الكمأة الأسترالية المحلية في هذا الاختبار؟ تمثل الإجابة عن هذا التساؤل أولوية عليا لفريقه.

ولحماية هذه المارسوپيل المهددة بالخطر وغيرها من الحيوانات التي تتناول الكمأة بانتظام، سيتعين على حماة البيئة (الموارد الطبيعية) ضمان توفير غذائهم. فهذا البند لاينطبق فقط على الحيوانات التي تعتمد مباشرة على الكمأة، وإنما يشمل أيضا المفترسات. وهكذا، فإن تهيئة الموطن للبوم الشمالي المنقط المهدد بالانقراض في شمال غرب المحيط الهادئ تتطلب توفير الاحتياجات الأولية لفريسة البوم، وهي السنجاب الطائر الشمالي الذي يتغذى غالبا بالكمأة.

تدجين الكمأة(*)

على الرغم من العِلْم الكثير الذي اكتسبه الباحثون عن بيئة الكمأة في العقود الأخيرة، فإن العِلْم الذي يُعنى بتربية الكمأة لم يتغير منذ عام 1960 إلا قليلا، أي منذ أن طور العلماء الفرنسيون تقنية **البيوت الزجاجية** green house لإضافة أبواغ الكمأة **پيريگورد السوداء** black Perigord إلى خليط زرع مكون من بادرات البلوط والبندق التي زرعت لاحقا في مواقع مناسبة لتشكل ***كمأة البساتين*** أو *truffières*.

وبتوافر الظروف المناسبة، فإن باستطاعة كمأة البساتين إنتاج محصول خلال أربع إلى خمس سنوات.

وبعد محاولات فاشلة عدة، تم إنتاج كمأة مشابهة لكمأة البساتين في الولايات المتحدة الأمريكية وذلك في عام 1980. ويعدُّ >T. ميشيل< المنتج لكمأة **تينسي** Tennessee مربيَ الكمأة الأكثر إنتاجية في شمال أمريكا. إنه طالب دراسات عليا سابق بإشراف >ترابي<. أنتج >ميشيل< 100 كيلوغرام من كمأة پيردگورد في الفترة بين عامي 2008 إلى 2009 وهذا مثير للإعجاب. وللحصول على هذه النتائج وجّه الكثير من العناية إلى التربة، فأضاف الجير سنويا للمحافظة على سهولة تفتيتها وصرف الماء منها. كذلك تمكنت كل من نيوزلندا وأستراليا من زراعة كمأة الپيريگورد أيضا.

وفي مقابل النجاح في زراعة كمأة پيريگورد، فشلت جميع محاولات زراعة أنواع الكمأة ذات الشعبية الأكبر - الكمأة الإيطالية البيضاء التي كان يصطادها >ميركو< وكلبه كلنتو والتي تمتلك نكهة مركزة خاصة. ولأسباب مازالت مجهولة، يَرْفُضُ هذا النوع ببساطة النمو في البيوت الزجاجية. وفي النهاية قد يعطي توفر تتالي أسس جينومها، والذي قارب على الاكتمال، تفسيرا لكيفية مداهنة ملك الكمأة هذا كي ينمو وفقا لمشيئة المزارع.

وبالتزامن، ربما تصبح الكمأة أكثر شيوعا مما مضى حتى بغياب مساعي زراعتها: فمع زيادة حرارة سطح الأرض، ستزداد نسبة المواطن الأسخن والأجف والتي تفضلها الكثير من الكمأة؛ وهذا كفيل بتهيئة الشروط الملائمة لزيادة الإنتاج وتسارع تطورها. إذن، فالتغير المناخي قد يعود بالفائدة على البعض: كثير من الكمأة للإنسان والحيوان. ■

(*) Taming the Truffle

مراجع للاستزادة

Field Guide to North American Truffles: Hunting, Identifying, and Enjoying the World's Most Prized Fungi. Matt Trappe, Frank Evans and James M. Trappe. Ten Speed Press, 2007.

Taming the Truffle: The History, Lore, and Science of the Ultimate Mushroom. Ian R. Hall, Gorton T. Brown and Alessandra Zambonelli. Timber Press, 2007.

Trees, Truffles, and Beasts: How Forests Function. Chris Maser, Andrew W. Claridge and James M. Trappe. Rutgers University Press, 2008.

Scientific American, April 2010

تهديد الحياة البحرية من الداخل إلى الخارج(*)

تؤدي انبعاثات **ثاني أكسيد الكربون** (CO_2) إلى زيادة حموضة البحار، معرِّضة بذلك للخطر نمو وتكاثر الأنواع من العوالق إلى الحبّار (الرخويات).

<M. J. هاردت> – <C. سافينا>

«في الوقت الحاضر المشكلة هي البطء في سرعة الأعراس الذكرية (النطاف)،» هذا ما أعلنه <J. هيڤنهاند> بلهجته البريطانية التي شدّدت على خطورة هذه المشكلة. «وهي تعني بيوضا ملقحة أقل ونسلا أقل وعددا أصغر من الأفراد». لقد كنا حينئذ نتشارك في ركوب سيارة أجرة تسير بنا على امتداد الساحل الشمالي المتلألئ من إسپانيا لحضور مؤتمر عالمي عن تأثيرات التغير المناخي وزيادة **ثاني أكسيد الكربون** (CO_2) الجوي في مياه المحيطات. وكنا مجموعة من الباحثين المهتمين بالتأثيرات غير المقدّرة التقدير الذي تستحقه لتغيرات كيمياء المحيطات في خلايا الأنواع البحرية ونسجها وأعضائها. وكان <هيڤنهاند> قد وضّح في تجارب مختبرية أجراها في جامعة كوتنبرگ في السويد أنّ مثل هذه التغيرات بإمكانها عرقلة أهم استراتيجية تمتلكها المخلوقات للبقاء على قيد الحياة ألا وهي: الممارسة الجنسية.

لقد استدعت زيادة حموضة المحيطات – نتيجة تفاعل كمية أكبر من المعتاد من ثاني أكسيد الكربون مع مياه البحار لتشكيل حمض الكربونيك – مشكلات أخرى يسببها غاز ثاني أكسيد الكربون. وحالما يصبح ماء البحر أكثر حموضة يلقى المرجان والحيوانات البحرية مثل الرخويات وبلح البحر مشكلات في بناء هياكلها وأصدافها. والأدهى من ذلك هو أن زيادة الحموضة يمكن أن تتداخل في الوظائف الجسدية الأساسية لجميع الحيوانات البحرية سواء كانت من ذوات الأصداف أو من دونها. ولما كانت زيادة حموضة المحيطات تعطل سيرورات أساسية مثل النمو والتكاثر، لذلك فهي تهدد الصحة الحيوانية بل وكذلك قدرة الأنواع على البقاء. وقد أدركنا الوقت لوضع حد لازدياد الحموضة قبل أن تلحق أذيات لا يمكن إصلاحها في السلسلة الغذائية التي تعتمد عليها محيطات العالم، ومن ثم البشر.

تغير بحري سريع(**)

إن تفاعل ثاني أكسيد الكربون مع ماء البحر يخفف من بعض التأثيرات المناخية الضارة لهذا الغاز. ويعادل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو نحو 390 جزءا في المليون، وقد يصبح هذا التركيز أعلى من ذلك إذا لم تستجر المحيطات نحو 30 مليون طن من الغاز الموجود في الجو يوميا. فقد امتصت بحار العالم ما يعادل تقريبا ثلث كمية ثاني أكسيد الكربون التي انطلقت إلى

مفاهيم مفتاحية

- يتناقص الرقم (الأس) الهدروجيني **pH** لمياه البحار في جميع أنحاء العالم ممّا يؤدّي إلى زيادة حموضتها بسبب امتصاص المحيطات كميات متزايدة باستمرار من ثاني أكسيد الكربون من الجو.
- تبين التجارب أن صراع مجذافيات الأرجل **copepods** والحلزون وقنافذ البحر وأفعويات الأذناب **brittlestars** **(Ophiuroidea)** لموازنة تغيّر الرقم الهدروجيني داخل أجسامها، يضعف قدرتها على التكاثر والنمو. ونظرا لحدوث هذا التغير بسرعة كبيرة، من غير المحتمل أن يستطيع الكثير من الأنواع التلاؤم جينيا مع زيادة حموضة مياه البحار.
- ومع تناقص عدد الأنواع يمكن أن تتفكك سلسلة الغذاء البحرية ؛ ومن ثَمّ يكون من الضروري تدخُّل الإنسان للحد من أية زيادة إضافية في الحموضة.

محررو ساينتفيك أمريكان

(*) THREATENING OCEAN LIFE FROM THE INSIDE OUT
(**) RAPID SEA CHANGE



الجو نتيجة النشاط البشري. ومن الواضح أن هذا التصريف يؤدي إلى تخفيض الاحترار العالمي، ولكن على حساب زيادة حموضة مياه البحار. وقد أوضح <H .R. بايرن> [من جامعة ساوث فلوريدا] أنه في الخمس عشرة سنة الأخيرة فقط ازدادت حموضة مياه المئة متر العلوية للمحيط الهادئ بمقدار 6 في المئة في المنطقة الممتدة من هاواي وحتى آلاسكا. وقد انخفض معدل **الرقم (الأس) الهدروجيني** (pH) لمياه الطبقة السطحية من بحار العالم بمقدار 0.12 وحدة، أي إلى القيمة 8.1 تقريبا منذ بداية الثورة الصناعية.

وقد لا يبدو أن هذا التغير كبير، ولكن نظرا لأن مقياس الرقم الهدروجيني لوغاريتمي، فإن ذلك التغير يعادل زيادة في الحموضة قدرها 30 في المئة. وقيم الرقم الهدروجيني تقيس **أيونات الهدروجين** (+H) في المحلول. وتمثل القيمة 7.0 المحلول المعتدل أو الحيادي، في حين تمثل القيم الأخفض الحموضة المتزايدة والقيم الأعلى القاعدية المتزايدة. ومع أن القيمة 8.1 تمثل قاعدية خفيفة، إلا أن انخفاضها يمثل توجها نحو ازدياد الحموضة. ومن المعروف أن الحياة البحرية لم تشهد مثل هذا الانزياح السريع في مئات الملايين من السنين السابقة. فقد بينت الدراسات **المستحاثية (الأحفورية)** paleontology أنّ تغيرات مشابهة في الماضي كانت ترتبط بفقدان للحياة البحرية واسع الانتشار. ويبدو أن الثورات البركانية الهائلة التي حدثت قبل نحو 250 مليون سنة وأدت إلى تحرير كميات كبيرة من غاز الميثان وإلى مضاعفة قيمة تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو، سببت أكبر انقراض عام للحياة البحرية عرفه التاريخ، حيث اختفى نحو 90

في المئة من الأنواع البحرية. واستمر وجود محيطات مختلفة تماما عن محيطاتنا تؤوي أنواعا أقل نسبيا، مدة تراوحت ما بين أربعة ملايين إلى خمسة ملايين سنة.

ويقدّر العلماء أنه إذا تابعنا إصدار غازات الدفيئة المسببة للاحتباس الحراري وفق المعدلات الحالية، فسيصل تركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو إلى نحو 500 جزء في المليون في عام 2050 وإلى نحو 800 جزء في المليون في عام 2100، فينخفض الرقم الهدروجيني لطبقة المياه العلوية للبحار إلى ما يعادل 7.7 أو 7.8 – أي ما يعادل زيادة في الحموضة قدرها 150 في المئة مقارنة بعصر ما قبل الثورة الصناعية.

ويتصوّر معظم الناس أن المحيط هو حوض هائل الحجم من الماء، ولكن المحيط هو أشبه بكعكة ذات طبقات، تتألف كل طبقة منها نتيجة تراكيب فريدة بين الملوحة ودرجة الحرارة. وتطفو أدفأ الطبقات وأعذبها (أقلها ملوحة) على عمق يتراوح بين 50 و 200 متر من السطح، وقد تكون أعمق أحيانا. ويدعم وجود كمية كافية من الأكسجين وضوء الشمس فيها ازدهار السلسلة الغذائية التالية: تقوم **العوالق النباتية** phytoplankton الأحادية الخلية، مثل النباتات، باستخدام ضوء الشمس لصنع السكر. وتغذي العوالق النباتية **العوالق الحيوانية** zooplankton – وهي حيوانات صغيرة تتراوح من القشريات الصغيرة جدا والشبيهة بالروبيان، إلى يرقات الأسماك الضخمة. وتغذّي العوالقُ الحيوانية الأسماك الصغيرة، وهذه بدورها تغذي الحيوانات الأكبر، وهكذا.

تساعد الرياح على مزج الطبقة العلوية بالطبقات الأعمق، فيهبط الأكسجين إلى الأسفل ويصعد الغذاء إلى الأعلى. وكذلك يحدث تدفق الغذاء ما بين السطح وقاع البحر بوساطة حركة الحيوانات سواء كانت ميتة أو حية. ففصيلة واسعة من القشريات الشديدة الصغر، تدعى **مجذافيات الأرجل**

(*) pH PRIMER
(**) ACID IN THE OCEAN

مقياس الرقم الهدروجيني pH(*)

يُحدّد الرقم الهدروجيني لمحلول بتركيز **أيونات الهدروجين** (H^+) فيه. تدل القيمة 7.0 على اعتدال المحلول؛ والقيمة الأدنى على حمضية المحلول والقيمة الأعلى على قاعدية المحلول. وتعني زيادة الحموضة انخفاضا في قيمة الرقم الهدروجيني في أي نقطة من المقياس.

قيمة الرقم الهدروجيني
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14
أكثر حمضية ← تركيز H^+ أعلى
حيادي (7)
أكثر قاعدية ← تركيز H^+ أخفض

[أساسيات]

حمض في المحيط(**)

يتألف المحيط من طبقات مستقرة نسبيا نشأت عن جمع فريد ما بين الملوحة ودرجة الحرارة (*في اليمين*). يزود ضوء الشمس في السطح العوالق النباتية phytoplankton بالطاقة – حجر الأساس في السلسلة الغذائية – وهذه بدورها تغذي في النهاية جميع الحياة البحرية بما فيها مجذافيات الأرجل التي تهاجر فيما بين الطبقات مغذية الحيوانات الموجودة في المياه الأعمق (*الوسط واليمين*). وعندما ترتفع نسبة ثاني أكسيد الكربون في الجو تزداد حموضة الماء (*الوسط واليسار*) – وهي ظاهرة جرت ملاحظتها (*أقصى اليسار*). وتدل التجارب على أن تلك الحموضة ستلحق الضرر بالحياة البحرية في مختلف الأعماق.

منطقة ضوء الشمس
200 m*
منطقة الشفق (الضوء القليل)
1000 m
منطقة الظلام (منتصف الليل)
4000 m
الأعماق السحيقة
*الأعماق تقريبية وتختلف على النطاق العالمي
أدفأ
أبرد

طبقات

يخفض ثاني أكسيد الكربون الجوي الرقم الهدروجيني في الطبقة السطحية (طبقة الضوء) مباشرة. ويؤدي مزج الطبقات تدريجيا إلى خفض الرقم الهدروجيني في الطبقات الأدنى ولكن بدرجة أقل. ومع ذلك تكون الحيوانات التي تعيش في الطبقات الأعمق أشد تأثرا بالتغيرات البسيطة.

50 m
100 m
200 m
مسار هجرة مجذافيات الأرجل
غروب الشمس
شروق الشمس
الزمن

سلسلة الغذاء

كل ليلة يقوم سرب من القشريات الصغيرة المسماة مجذافيات الأرجل بالهجرة نحو الأعلى إلى الطبقة السطحية ليتغذى بعوالق حيوانية zooplankton أصغر منها. وتهبط حالما يطلع النهار فتكون طعاما للأنواع القاطنة في طبقات أعمق. يؤثر تغير الرقم (الأس) الهدروجيني pH في بقاء هذه الكائنات على قيد الحياة ويقطع سلسلة الغذاء.

copepods، تهاجر كل ليلة، تحت جنح الظلام، من الطبقة الوسطى، وحتى أحيانا من طبقات أعمق، إلى السطح لتتغذّى بالمائدة التي صنعتها أشعة الشمس في النهار. ويتتبع العديد من الأسماك و**الحباريات** squids هذه الحركات، في حين تنتظر قاطنات الأعماق هطول هذا الغذاء السخي على شكل بقايا غارقة. وعندما تقوم **المتعضيات** organisms بالصعود والهبوط تمر حتما خلال طبقات مياه مختلفة الأرقام الهدروجينية. ولكن عندما تغير الحموضة هذا البروفيل من الرقم الهدروجيني، فإن ذلك قد يؤذي المتعضيات.

عند سوية الحيوانات البحرية الفردية، يمكن أن تجبر زيادة الحموضة المخلوقات على صرف المزيد من طاقتها لتصحيح والحفاظ على توازن قيم الرقم الهدروجيني الداخلية، محولة الطاقة بعيدا عن السيرورات المهمة مثل النمو والتكاثر.

تستطيع حتى الزيادات البسيطة في تركيز ثاني أكسيد الكربون في ماء البحر أن تتسبب في انتشار هذا الغاز بسرعة داخل أجسام الحيوانات التي تتنفس في الماء. ويتفاعل ثاني أكسيد الكربون بمجرد دخوله مع الموائع الداخلية للجسم منتجا أيونات الهدروجين التي تجعل موائع الجسم ونسجه أكثر حموضة. وتستخدم الأنواع عددا متنوعا من الآليات لموازنة الرقم الهدروجيني في داخلها. وتتضمن هذه الآليات إنتاج أيونات سالبة مثل **البيكربونات**(1) التي تمتص أو تحجز أيونات الهدروجين الزائدة، كما تتضمن ضخ الأيونات إلى داخل الخلايا وخارجها

(1) bicarbonate

تبين السجلات الجيولوجية أن تغيرات مماثلة في الرقم الهدروجيني حدثت في الماضي وأبادت جميع الحياة البحرية تقريبا.

تصنيع الحمض

يمتص ماء البحر في منطقة السطح جزيئات ثاني أكسيد الكربون (CO_2) من الهواء. وعندئذ يتفاعل ثاني أكسيد الكربون مع الماء (H_2O) مشكلا حمض الكربونيك (H_2CO_3). يتفكك معظم هذا الحمض الضعيف معطيا أيونات هدروجين (H^+) وأيونات بيكربونات (HCO_3^-). تتفكك بعض أيونات البيكربونات معطية المزيد من أيونات الهدروجين. وتؤدي زيادة أيونات الهدروجين إلى إنقاص الرقم الهدروجيني.

ثاني أكسيد كربون جوي

ثاني أكسيد كربون منحل

ماء (H_2O)

حمض كربوني (H_2CO_3)

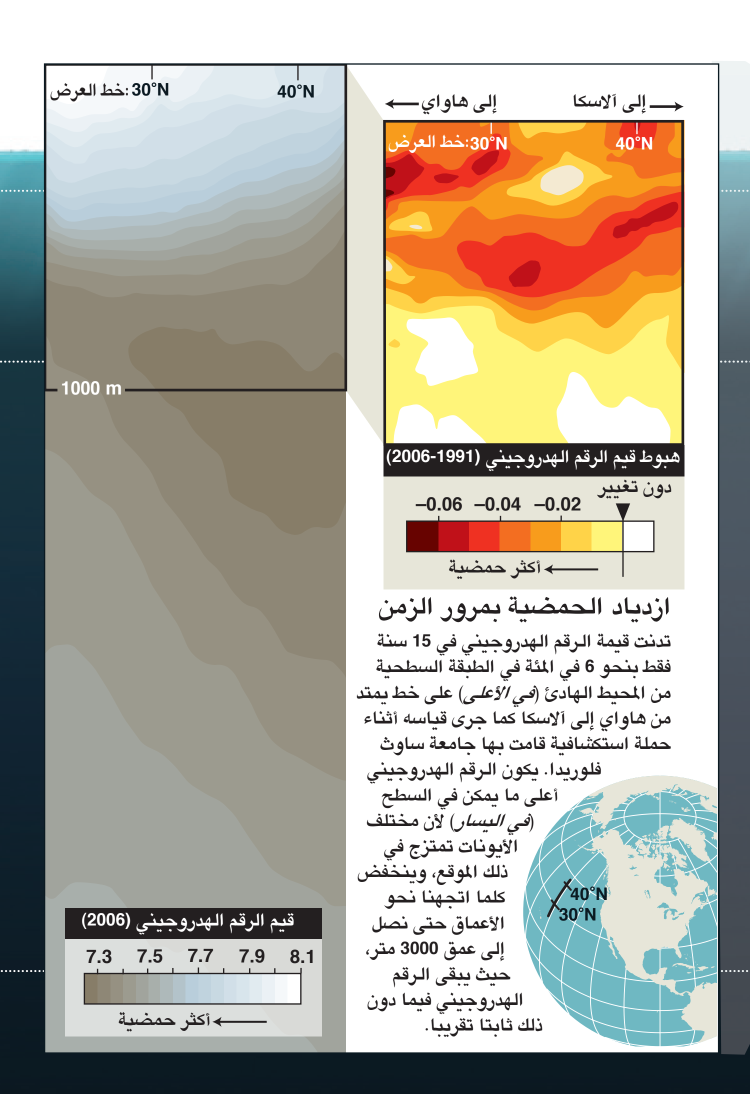
أيون بيكربونات (HCO_3^-)

أيون هدروجين (H^+)

أيون كربونات (CO_3^{-2})

أيون هدروجين (H^+)

رقم هدروجيني ↓ = حموضة ↑ = أيون هدروجين ↑



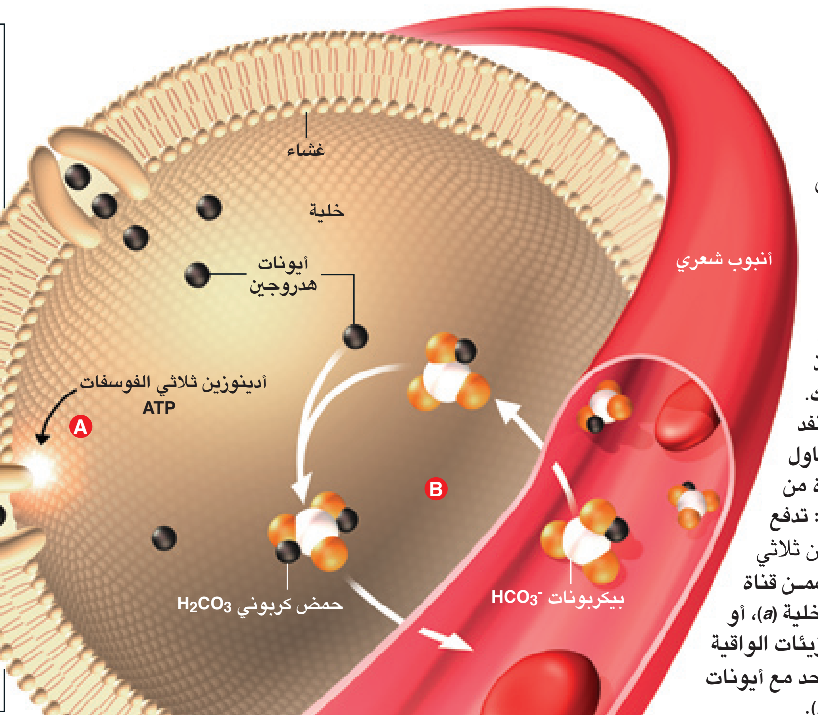
ازدياد الحمضية بمرور الزمن

تدنت قيمة الرقم الهدروجيني في 15 سنة فقط بنحو 6 في المئة في الطبقة السطحية من المحيط الهادئ (*في الأعلى*) على خط يمتد من هاواي إلى ألاسكا كما جرى قياسه أثناء حملة استكشافية قامت بها جامعة ساوث فلوريدا. يكون الرقم الهدروجيني أعلى ما يمكن في السطح (*في اليسار*) لأن مختلف الأيونات تمتزج في ذلك الموقع، وينخفض كلما اتجهنا نحو الأعماق حتى نصل إلى عمق 3000 متر، حيث يبقى الرقم الهدروجيني فيما دون ذلك ثابتا تقريبا.

[آلية دفاع]

صراع من أجل الحياد(*)

إن زيادة ثاني أكسيد الكربون في ماء البحر تؤدي إلى إرسال الكثير من أيونات الهدروجين إلى داخل أجسام الحيوانات، فتجعل نسجها أكثر حمضية. ويمكن أن تقوم الأنواع باتخاذ إجراءات مختلفة لمقاومة ذلك. ولكن جميع المحاولات تستنفد طاقة. فمثلا يمكن أن تحاول الخلايا ضخ الأيونات الزائدة من الهدروجين خارج أجسامها: تدفع الطاقة من جزيء أدينوزين ثلاثي الفوسفات ATP الأيونات ضمن قناة وحيدة الاتجاه في غشاء الخلية (*a*)، أو يُنتج الجسم المزيد من الجزيئات الواقية مثل البيكربونات (HCO_3^-) لتتحد مع أيونات الهدروجين وتتخلص منها (*b*).



مخلوقات معاقة ◄

بينت التجارب المختبرية أن خصوبة ونمو الحيوانات البحرية تعاني زيادة حموضة المياه. فبعد أن جرى تربية يرقات أفعويات الأذناب ثمانية أيام في ماء رقمه الهدروجيني 8.1، وهي القيمة المصادفة في ماء البحار اليوم، أعطت يرقات ناضجة ومتناظرة (*في اليسار والأعلى*)، ولكن اليرقات التي ربيت في رقم هدروجيني يساوي 7.7 كانت مشوهة (*في اليسار والأسفل*) ولم تصل أي منها إلى مرحلة النضج التام. وقد أعطت جميع بيوض الحلزون التي جرى تلقيحها وتربيتها في رقم هدروجيني يعادل 8.05 أجنة مزودة بأصداف بعد 18 يوما (*في اليمين والأعلى*)، أما في المياه ذات الرقم الهدروجيني 7.6 (*في اليمين والأسفل*) فكانت بعض البيوض فارغة، والأجنة لم تُنم أصدافها بعد.

نظرا للعواقب المحتملة، يجب أن تَحُدَّ الانبعاثاتُ خلال القرن القادم انخفاضات الرقم الهدروجيني بما لا يزيد على 0.1.

والفراغات بين الخلوية، وكذلك تخفيض الأيض بغية امتصاص عدد أقل من الأيونات بانتظار جلاء الفترة التي يكون فيها تركيز أيونات الهدروجين مرتفعا. ولكن لا يمكن لأي من هذه الآليات أن تعالج مسألة التناقص المستمر في قيم الرقم الهدروجيني. وعندما يصارع كائن حي لإعادة التوازن حمض – قاعدة في داخله فعليه أن يضحي بالطاقة، ومن ثَمّ يمكن أن تصبح أيضا وظائف الحياة الأساسية لديه، مثل اصطناع البروتينات والمحافظة على جهاز مناعي قوي، معرّضة للخطر.

إن معظم الأنواع تمتلك، على الأقل، بعض الجزيئات **الواقية** buffer. فالأسماك وبعض الأنواع النشيطة تقوم بتخزين هذه الجزيئات للتخفيف من أثر انخفاض مؤقت في الرقم الهدروجيني ناتج من سباحة طويلة مجهدة. ويشبه ذلك ما يحدث لدى العدائين أثناء جريهم فجأة بأقصى سرعة، فتنتقل عضلاتهم إلى **الأيض اللاهوائي** anaerobic (لا يعتمد على الأكسجين) الذي يستخدم جزيئات **الأدينوزين الثلاثي الفوسفات** ATP (جزيئات الوقود الرئيسية) بسرعة أكبر مما يؤدي إلى تراكم أكبر لأيونات الهدروجين. ولكن لايوجد سوى القليل جدا من الأنواع التي تستطيع أن تُراكم كمية كافية من الجزيئات الواقية لاستعمالها مدة طويلة من الزمن. فقد تستطيع الأنواع عند حدوث تغيرات تدريجية صغيرة في الرقم الهدروجيني على امتداد عشرات الآلاف من السنين أن تطور نظاما للتلاؤم كأن يحصل على فرصة **تطفير** mutation جيني تُفضي إلى كمية أكبر من الجزيئات الواقية؛ ولكن الأنواع عموما لا تستطيع أن تتلاءم مع تغيرات تحدث خلال مئات السنين أو أقل. لقد كانت التغيّرات الماثلة المحدثة في المختبر خلال أيام أو أسابيع مميتة.

ونجد في العصور الجيولوجية الغابرة التي ارتفع فيها تركيز ثاني أكسيد الكربون، أن الأنواع التي كانت لا تمتلك أجهزة واقية جيدة قد أخفقت كليا في التلاؤم. وقد يؤدي الانخفاضُ في الرقم الهدروجيني على وجه الخصوص الأنواعَ التي تعيش في أعماق البحار، لأن بيئتها

(*) THE STRUGGLE TO NEUTRALIZE

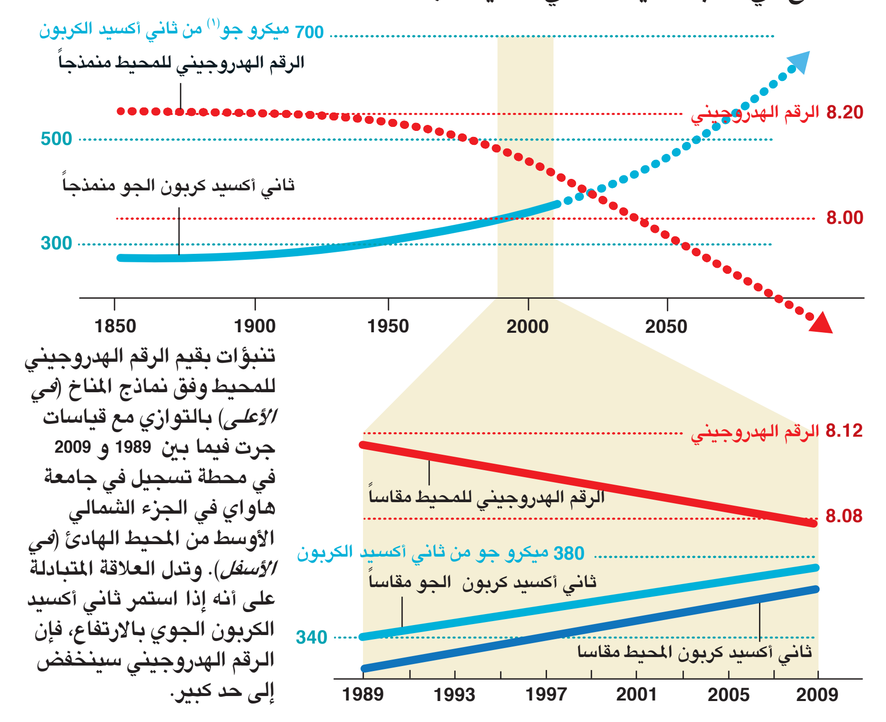
خصوبة | بنية داخلية

ظروف طبيعية

ظروف حمضية

المســتقرة تجعلها غير مجهزة للتلاؤم مع التغيــرات. (ولذلك، فإن الاســتراتيجيات المقترحــة لمكافحة التغيُّــر المناخي بضخ كميات كبيــرة من ثاني أكســيد الكربون في أعماق البحــار كانت مقلقة جدا، لأنها سوف تقضي على اســتقرار مواطن عدد

نماذج في مقابل القياسات في المحيط الهادئ



تنبؤات بقيم الرقم الهدروجيني للمحيط وفق نماذج المناخ (*في الأعلى*) بالتوازي مع قياسات جرت فيما بين 1989 و 2009 في محطة تسجيل في جامعة هاواي في الجزء الشمالي الأوسط من المحيط الهادئ (*في الأسفل*). وتدل العلاقة المتبادلة على أنه إذا استمر ثاني أكسيد الكربون الجوي بالارتفاع، فإن الرقم الهدروجيني سينخفض إلى حد كبير.

كبير جدا من المخلوقات.)

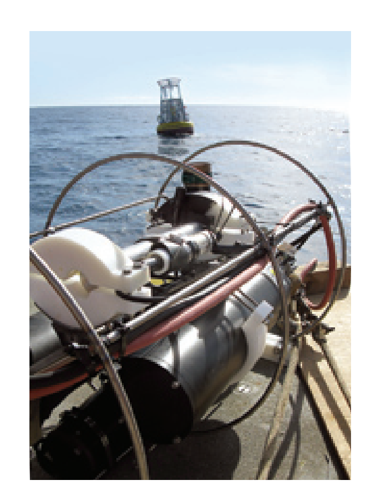
نمو ضعيف وتكاثر هزيل[*]

تختلــف التأثيــرات الداخليــة لازدياد حموضة المحيطات باختــلاف مراحل تطور الحياة. وتشــير هيئة بحثية صغيرة ولكنها متنامية إلى العديد من المشكلات المحتملة.

وبالفعــل، فإن أولــى مراحل الحياة – **التخصيب (التلقيح)** fertilization – يمكن أن تتأثــر. فقد قــام العلماء فــي المختبر بمحــاكاة ظاهرة زيــادة الحموضة بضخ المزيد من فقاعات غاز ثاني أكسيد الكربون ضمن خزانات تحوي ماء البحر. فتبين أن ما قاله <هيڤنهاند> في سيارة الأجرة كان صحيحــا. فقــد انخفضت حركــة نطاف قنفذ البحر الأســترالي ***هليوسـيداريس إريتروگرامّا*** *Heliocidaris erythrogramma* بمقدار 16 في المئة وتباطأت سرعة سباحته بمقدار 12 في المئة عندما خفض المجربون قيمة الرقم الهدروجينــي بمقدار 0.4 (أي ضمن المجال المتنبأ به في عام 2100). أدى ذلك إلى انخفاض فرص نجاح التخصيب بمقدار 25 في المئة. ويمكن لمثل هذه النسبة من الانخفــاض إذا حدثت في الطبيعة أن تؤدي مــع الزمن إلى تقليل عــدد الأفراد البالغين في المجتمعات بشكل خطير جدا. فمــع أن أفراد قنافذ البحــر تطلق ملايين النطــاف والبيــوض إلاّ أن هــذه النطاف لاتبقــى مــدة طويلة صالحــة للتخصيب، فهي بحاجة إلى أن تجد البيوض وتلقحها خلال بضع دقائــق. وهذا أمر قد يصعب على النطــاف المتثاقلة القيــام به في بحر كثير الاضطــراب، وهكذا فإن تلك النطاف لن تصل إلى غايتها أبدا.

وزيادة الحموضة في مياه البحار تُحبط أيضــا المراحــل اليرقيــة الأولى مــن حياة عدد كبير من الأنواع. فقــد قام <S. دوپون>

(*) POOR GROWTH AND REPRODUCTION
(١) microatmosphere



بيانات مستقبلية(*)

وضعت محسات الرقم الهدروجيني وثاني أكسيد الكربون على عوامات في المحيط الهادئ في الشهر 2009/12 من قبل معهد سكريبس لدراسة المحيطات، وهي توفر البيانات للمشاريع البحثية الحالية في المنظومات البيئية بكاليفورنيا. والمعلومات المحصلة تساعد على تحسين التنبؤات الخاصة باتجاهات زيادة حموضة البحار.

[من جامعة كوتنبرگ] بتعريض يرقات أفعوية الأذناب – من أقارب نجوم البحر العادية – إلى رقم هدروجيني خُفّض بمقدار 0.2 إلى 0.4 وحدة، فأبدى عدد كبير من الأفراد نموا شاذا، ولم يستطع أكثر من 0.1 في المئة منها الاستمرار على قيد الحياة مدة تزيد على ثمانية أيام. ووجد في دراسة أخرى أن عددا أقل من أجنة الحلزون ***ليتّورينا أوبتوساتا*** *Littorina obtusata* نجحت في التفقيس عندما عُرضت إلى مياه ذات رقم هدروجيني أخفض، وأمّا تلك التي فقست بالفعل فغدت تتحرك بوتيرة أقل وبسرعة أبطأ من المعتاد.

إنّ تغيرا سريعا مقداره ما بين 0.2 و 0.4 في الرقم الهدروجيني أشد وقعا مما تتعرض له الأفراد الموجودة في البحار، حيث يمكن لبعض الأنواع أن تتلاءم مع التغيرات التدريجية. ولكن بالنسبة إلى البعض الآخر، فإن تغيرا بسيطا في الحموضة يكون وقعه عليها صعبا وسريعا. ويعتقد العلماء أن زيادة حموضة مياه المحيطات هي السبب في النفوق الحديث العهد ليرقات المحار على امتداد شواطئ أوريگون على سبيل المثال، مما دفع ببعض مربي المحار إلى الإسراع في إيجاد ما يكفي من الصغار حتى يُتاح لهم الاستمرار في العمل.

وتعاني الحيوانات البالغة كما تعاني الصغار، وبخاصة عندما يتعلق الأمر بالنمو. فقد ذكرنا أن قنافذ البحر والحلزون تصبح بطيئة الحركة، إلا أن المشكلة الكبيرة هي في كونها تصبح بطيئة النمو. لقد بيّن الباحثون في جامعة كيوتو في اليابان في عام 2005 أن تركيزا من ثاني أكسيد الكربون قدره 200 جزء في المليون أعلى من القيمة المقيسة اليوم، ضُخَّ في ماء البحر لمدة ستة أشهر، أدى إلى إنقاص معدلات النمو لقنافذ البحر من النوعين ***هيميسنتروتس بولشيرّيماس*** *Hemicentrotus pulcherrimus* و***إيكينومترا ماتيي*** *Echinometra mathaei* ولمتعددي الأرجل ***ستروموبس لوبوانو*** *Strombus lubuanu*. إن التركيز الزائد 200 جزء في المليون يتوافق مع القيمة التي يُتنبأ بالوصول إليها بعد أربعة أو خمسة عقود من الزمن. كما أن النمو البطيء يجعل الأفراد صغيرة القد مدة أطول من الزمن مما يزيد من تعرضها للمفترسات ومن ثم احتمال إضعاف تكاثرها.

وتجعل الحموضة الزائدة لمياه البحر امتصاص بعض أنواع العوالق النباتية للحديد صعبا، وهو أحد العناصر الغذائية الميكروية الضرورية لنموها. وقد بيّن الباحثون في جامعة برينستون أن نقصانا قدره 0.3 في الرقم الهدروجيني يمكنه أن يخفض قدرة العوالق النباتية على امتصاص الحديد بمقدار 10 إلى 20 في المئة. وإضافة إلى كون العوالق النباتية إحدى الحلقات المهمة في سلسلة الغذاء، فهي تنتج كميات هائلة من الأكسجين الذي نتنفسه.

ووجد في تجارب أخرى، أنّ النوع ***أمفيورا فيليفورميس*** *Amphiura filiformis* من مجموعة أفعوية الأذناب الساكنات الرواسب ينمّي أذرعه إلى معدلات أكبر عندما ينخفض الرقم الهدروجيني، ولكن يفقد مقدارا كبيرا من كتلته العضلية. ومن المعلوم أن هذه الكائنات تحتاج إلى عضلات قوية لكي تتغذى وتبني جحورها وتفلت من المفترسات المتربصة بها. ويستطيع انخفاض في الرقم الهدروجيني قدره 0.3 إلى 0.5 أن يوقف استجابة الجهاز المناعي لبلح البحر الأزرق العادي خلال شهر واحد. ويمكن أن يُسبّب انخفاض العزيمة والنمو والوظيفة المناعية أو التكاثر انخفاضا طويل الأمد في عدد أفراده – وهذه أخبار سيئة للمفترسات ولأنواع عديدة أخرى (بمن فيها البشر) التي تعتمد عليها في الغذاء وحتى في الموطن. فعلى سبيل المثال، يساعد رعي قنافذ البحر على الحفاظ على الأرصفة المرجانية والغابات البحرية بصحة وعافية، وكذلك فإن مزج

(*) FUTURE DATA



السمك المهرج

[ارتباك حسي]

اضطراب فقدان الشم LSD الجديد(*)

تتدخل مياه البحار الحمضية باستمرار في الكيمياء الداخلية لأجسام عدد كبير من الأنواع. وقد توصل الباحثون إلى أن زيادة حموضة البحار تؤثر في بُقيا الأنواع بالعديد من الطرائق غير العادية الأخرى.

فمثلا، يستخدم عدد كبير من الأنواع البحرية استشعارا شميا بارعا في سعيه إلى الحصول على المأكل والتزاوج والمأوى المناسب. وتفرّق بعض أنواع **السمك المهرج** clownfish بين الروائح المنفرة والأخرى الجاذبة لتقرر المكان (رصيف مرجاني أو **شقائق البحر** sea anemone) الذي ستستقر فيه بقية أيامها. وقد بينت الدراسات المختبرية أن يرقات السمك المهرج التي ربيت في مياه بحرية تتراوح قيم أرقامها الهدروجينة ما بين 0.2 و 0.4، أي أقل من معدل حموضة البحار في الوقت الحاضر، تسبح باتجاه الاستشعارات السالبة ولا تستجيب للاستشعارات الموجبة. ولدى فحصها، بدت أعضاؤها الأنفية طبيعية، ولذلك يعتقد العلماء أن زيادة الحموضة قد تكون عطلت الطريقة التي تسير فيها الإشارات الكيميائية ضمن الجهاز العصبي. وهذا نوع جديد من **اضطراب فقدان الشم** (LSD)(1). إننا بحاجة إلى المزيد من الدراسات لنعرف كيف يؤثر اضطراب فقدان الشم في المجتمعات السمكية في جميع أنحاء العالم.

وكذلك تزيد أيضا التأثيرات المعقدة بين الجزيئات في ماء البحر والموجهة بالرقم الهدروجيني، القدرَة على سماع الأصوات أو تنقصها. فقد تؤدي زيادة حموضة مياه البحر إلى زيادة حجم الصوت. ومن المعروف أن انخفاضا إضافيا في قيمة الرقم الهدروجيني بمقدار 0.3 وحدة (كما هو متوقع أن يكون في عام 2100)، سيجعل الصوت في البحار أعلى بنحو 40 في المئة. ومع أن عدم وجود دراسات تربط زيادة الضجة المتأتية عن زيادة الحموضة بتغير فرص بقيا الحيوانات البحرية، ولكن ما جرى التوصل إليه يحتم رفع راية الإنذار، لأن حياة الحيوانات البحرية الطبيعية، وبخاصة الثدييات البحرية، تعتمد كليا على الصوت في تنقلها وتواصلها وصيدها وزواجها.

الرواسب الذي تقوم به أفعويات الأذناب، أمر ضروري لجعل هذه الرواسب صالحة لسكن عدد كبير من الأنواع الأخرى.

وقد يعني مجرد زيادة حموضة المحيطات والبحار النهاية لبعض المخلوقات. إذ عندما عرضت عينة من مجذافيات الأرجل المنتشرة على سواحل كاليفورنيا تنتمي إلى النوع ***بارايوكيتا إلونكاتا*** *Paraeuchaeta elongata*، إلى ماء رقمه الهدروجيني أقل بمقدار 0.2 وحدة من الطبيعي، نفق نصف تلك المخلوقات في غضون أسبوع واحد. وتعتمد الكثير من الأسماك التي نفضلها في الأكل، مثل سمك الطون والسلمون والقاروس المخطط على وفرة أنواع محددة من مجذافيات الأرجل لتغذية الفرائس التي تتغذّى بها هذه الأسماك.

وتبدي أنواع متعددة من الأسماك، مثل النوع ***أنارهيكاس ماينور*** *Anarhichas minor* (السمك الذئبي المرقط)، قدرة مذهلة على التحمل في المختبر، لأنها تحتفظ بمقدار كبير نسبيا من المواد الواقية وتخزن كمية زائدة من الأكسجين في نسجها، وهو ملائم للاستعمال لأن أيونات الهدروجين تتدخّل مع قدرة الدم على امتصاص الأكسجين من الماء. ولكن الأسماك مهما بلغت قدرتها على التلاؤم قد تعاني تضاؤل مصادر غذائها. وتوجد بعض الأنواع غيرمؤهلة لهذه الدرجة. فالحبّاريات الشديدة النشاط مثلا، ليس لديها مخزونات من الأكسجين، فهي تستخدم جميع ما لديها دائما. ولذلك، فإن انخفاض الأكسجين في دمها سيحد من قدرتها على الصيد وتجنب المفترسات وإيجاد الإناث. وفي حالة الحبار ***إيلكس إيلسيبروساس*** *Illex illecebrosus* ذي الأهمية التجارية فإن انخفاضا في الرقم الهدروجيني قدره فقط 0.15 يمكن أن يُسبّب له أذية كبيرة.

إن الدلالة التي تبعث بها الدراسات المختبرية وكذلك السجل الجيولوجي هي أن زيادة حموضة البحار تجبر الحيوانات على الدخول في صراع مرير، تتعرض له حاليا بسبب ما يحرّضه الإنسان من أذيّات مثل احترار المياه والتلوث وصيد الأسماك الجائر.

(*) THE NEW LSD
(1) lost smell disorder

تلاؤم حمضي؟(*)

تدوم التجارب المختبرية من أسابيع إلى أشهر، في حين يحدث التغير المناخي خلال عقود أو قرون. ولذلك قد تستطيع بعض الأنواع التلاؤم وبخاصة عندما تكون دورتها التكاثرية قصيرة. فكل مرة يتكاثر فيها حيوان ما يمكن أن يؤدّي ذلك إلى حدوث طفرات جينية في السلالات الناشئة قد تساعد الجيل الناشئ على التلاؤم مع الظروف الجديدة. إن فترة التسعين سنة - وهو الزمن المتنبأ به لكي ينخفض الرقم الهدروجيني بمقدار 0.3 إلى 0.5 وحدة - هي فترة قصيرة جدا لكي يحصل فيها تلاؤم جيني للأنواع التي تتكاثر بمعدلات بطيئة نسبيا، والتي هي حاليا مجهدة بسبب الانخفاض الحالي في الرقم الهدروجيني البالغ نحو 30 في المئة. ويحدث انقراض الأنواع غالبا بسبب الانخفاض البطيء على مدى قرون أو أكثر، فالانخفاض في عدد الأفراد مقداره 1 في المئة فقط في كل جيل يمكن أن يؤدي إلى الانقراض في مدة لا تزيد على قرن.

ويجب التنبه إلى أنّ انخفاض الرقم الهدروجيني الملاحظ حتى الآن والمسار المتنبأ به في ظروف اتجاهات الانبعاثات الحالية، هو أسرع بمئة مرة من أي تغيرات حدثت في الألفيات السابقة من السنين. وإن ترك مستويات ثاني أكسيد الكربون دون رقابة سيؤدي إلى بحار مختلفة جدا، بحارٍ لم تختبرها الأنواع الحديثة على الإطلاق.

ومما يزيد من احتمال عدم حدوث التلاؤم هو التآثر بين تأثيرات زيادة الحموضة والصراعات الأخرى التي تواجهها الكائنات الحية. فمثلا، يمكن أن تضيّق زيادة سويات ثاني أكسيد الكربون مجال درجات الحرارة التي يمكن فيها للفرد البقاء على قيد الحياة. ونحن نشهد اليوم مثل هذه التقييدات في حالة المرجان وبعض الطحالب التي أصبحت مجهَدة حراريا في درجات حرارة أخفض من العادية إذا ما عرضت إلى نسبة أعلى من ثاني أكسيد الكربون.

خيارات للمستقبل(**)

لقد دأب العلماء باستمرار على الاستهانة بمعدلات التغير المناخي بدءا من ذوبان جليد المنطقة القطبية الشمالية إلى ارتفاع مستويات البحار. ويوصي الخبراء بشدة بوضع حدود لتركيز ثاني أكسيد الكربون في الجو لمنع الوصول إلى مستويات خطرة من الاحترار العالمي. ولكن تحديد هذه الأهداف يجب أن يترافق مع الأخذ بالحسبان مسألة ازدياد حموضة البحار. ويمكن أن تؤدي زيادة الحموضة الفعّالة إلى إعادة هيكلة كاملة لمنظومة البيئة البحرية، ويتبع ذلك تدفق من التأثيرات في السلسلة الغذائية. فيمكن أن نجد بعض الأنواع وقد ازدهرت على غذاء مؤلف من تركيبة جديدة من العوالق، في حين تعاني أنواع أخرى قلة الغذاء؛ ولكن لا علم لنا ما إذا كانت الأنواع التي كثيرا ما نعتمد عليها (أو التي نحبها أكثر) ستكون الرابحة. وقد تُلحِق التغيرات الأذى أيضا بالسياحة وتقضي على المصادر الصيدلانية والطبية الحيوية الكامنة.

وكذلك تُغير زيادة حموضة البحار قواعد دورة الكربون للأرض بكاملها. فصحيح أن البحار تمتص حاليا كميات كبيرة من انبعاثات البشر، ولكن معدلات الامتصاص تتباطأ عندما يزداد تركيز ثاني أكسيد الكربون في ماء البحر فيرجع عائدا إلى سطحه ويتراكم (ثاني أكسيد الكربون) عنده؛ ونتيجة لذلك يرتفع تركيزه في الجو بوتيرة أسرع مؤديا إلى تسريع التغيرات المناخية العالمية.

وتُبرِّر مثل هذه النتائج المساعي التي تهدف إلى تحديد مقدار انخفاض الرقم الهدروجيني بما لا يزيد على 0.1 في غضون القرن التالي. ويتزايد الاعتقاد أن تخفيض تركيز ثاني أكسيد

(*) ACID ADAPTATION?
(**) OPTIONS FOR THE FUTURE

المؤلفان



Marah J. Hardt Carl Safina

<مَرح هاردت>، أسّست ما يسمى أوشين لينك OceanInk وهي عالمة وباحثة وكاتبة ومستشارة في بيك آيلند وهي أكبر جزيرة في هاواي. وأصبحت بالتدرب عالمة بيئية مختصة بالأرصفة المرجانية. وهي زميلة سابقة في مؤسسة بلو أوشين Blue Ocean في ميناء كولد سبرينك بنيويورك. تعمل <هاردت> على حل عدد متنوع من القضايا من الصيد العالمي الجائر إلى الحفاظ على المياه العذبة. <كارل سافينا>، هو الرئيس المؤسس لمعهد بلو أوشين وهو أستاذ مساعد في جامعة ستوني بروك وزميل في ماك آرثر، وهو أيضا مؤلف كتاب Song for the Blue Ocean : Encounters along the World's Coasts and beneath the Seas، وكتاب: Eye of the Albatross: Visions of Hope and Survival. وقريبا في هذا العام سيصدر <سافينا> كتابه: The View from Lazy Point: A Natural Year in an Unnatural World.

الكربون في الجو إلى مستوى 350 جزءا في المليون يبدو هدفا عقلانيا. فجعل هذا التركيز مستقرا عند 450 جزءا في المليون بحلول عام 2100، كما يقترح البعض، قد يساعد على خفض الرقم الهدروجيني الإضافي إلى 0.1. ولكن وحتى تلك القيمة، يمكن أن تقضي على الأرصفة المرجانية وتجعل من المستحيل على بعض الحيوانات بناء أصدافها، وبخاصة في المحيط الجنوبي الذي يحيط بالقارة المتجمدة الجنوبية. وسيقوم المحيط الجنوبي، بسبب درجات حرارة مياهه المنخفضة وأنماط دورانه الفريدة، بإذابة الأصداف والبنى الهيكلية أسرع من أي محيط آخر. إن منع حدوث زيادة أخرى في قيمة الحموضة أسهل بكثير من عكس التغيرات بعد حدوثها، لأن المنظومات الواقية الطبيعية تحتاج مئات إلى آلاف السنين كي تتمكن من إعادة الرقم الهدروجيني إلى مستويات ما قبل المرحلة الصناعية.

ماذا يمكن فعله؟ بداية يجب على إدارة <أوباما> أن تسن سياسة بحرية وطنية - هي الأولى من نوعها في الولايات المتحدة - لأنها ستكون وحدها القادرة على تنسيق الجهود المؤثرة والتي من شأنها مواجهة التهديدات المتعددة. ويجب أن تتقدم وكالة حماية البيئة في مسألة احتساب ثاني أكسيد الكربون ملوِّثا وفق **قانون المياه النظيفة** the Clean Water Act، معطية الولايات سلطة فرض قيود على حدود انبعاثات ثاني أكسيد الكربون. وسوف يسمح إنشاء المحميات البحرية للأنواع بالتعافي من الاستغلال الجائر، فتوفر الأعداد الكبيرة منها لمجتمعاتها ومستودعاتها الجينية المرونة اللازمة للاستجابة للتغيرات المناخية. وكذلك قد يسهم في المساعدة على ذلك، ضبط حدود الصيد بحيث تتوافق مع التوصيات العلمية وليس مع الرغبات السياسية. إن التوقيع على معاهدة الأمم المتحدة الخاصة بقانون البحار الذي أهملته الولايات المتحدة عقودا من الزمن سيمكّن الأمة من الوصول إلى مركز القيادة في الزعامة البحرية.

ونحتاج أيضا إلى المزيد من الدراسات العلمية. فتوفير المال اللازم لدعم النشاطات البحثية والتي يضطلع بها المشروع الأوروبي حول زيادة حموضة البحار، ولتطبيق القانون الفدرالي المتعلق بمراقبة زيادة حموضة البحار وإجراء الأبحاث فيها، يوسع فهمنا لتأثيرات زيادة الحموضة. وفي الوقت ذاته، نحتاج إلى شبكة مراقبة على نطاق واسع جدا لتحري أي تغير يحدث في قيم الحموضة. لقد وضع فريق دولي بقيادة <R. فيلي> [من مختبر البيئة البحرية للمحيط الهادئ في سياتل] و<V. J. فابري> [من جامعة كاليفورنيا الحكومية في سان ماركوس] مخططا لدمج مراقبات زيادة الحموضة في برامج تعقب بحرية مثل برنامج **أوشين سايتس** OceanSITES، ويجب أن يكون متبوعا بالتوصيات في أقرب فرصة ممكنة. يضاف إلى ذلك أن تركيز الجهود للجمع بين البيانات الحقلية والتجارب المختبرية، كما في مشروع المنظومة البيئية الحالية لكاليفورنيا المتضمن وسائل الانضباط **البيوجيوكيميائية**(1)، سيؤكد أن تجارب العلماء تحاكي ظروف الواقع.

وفي النهاية، فإن حل مشكلة حموضة البحار يقع في إطار اقتصاد طاقة جديد. فالولايات المتحدة اليوم، وفي ضوء ما يحدث من انفجارات مميتة في مناجم الفحم الحجري وأماكن التنقيب عن النفط والغاز في عرض البحر والتلوث النفطي الكارثي في خليج المكسيك، تجد نفسها أكثر من أي وقت مضى، بحاجة إلى صياغة استراتيجية طاقة أكثر أمانا لكوكب الأرض. وإن تخفيضا كبيرا فقط في استعمال الوقود الأحفوري يستطيع منع الانبعاثات الإضافية من غاز ثاني أكسيد الكربون من تلويث البحار. وخطة واضحة في هذا السبيل هي الانتقال من مصادر الطاقة المحدودة الخطيرة إلى مصادر الطاقة المتجددة النظيفة، توفر للأمم مسارا أكثر أمانا. وتوفر لكوكب الأرض، وبخاصة بحاره، الفرصة لينعم بمستقبل صحي مزدهر. ■

(1) Biogeochemical

مراجع للاستزادة

The Dangers of Ocean Acidification. Scott C. Doney in *Scientific American*, Vol. 294, No. 3, pages 38–45; March 2006.

Impacts of Ocean Acidification on Marine Fauna and Ecosystem Processes. Victoria J. Fabry et al. in *ICES Journal of Marine Science*, Vol. 65, No. 3, pages 414–432; April 2008.

European Project on OCean Acidification: **www.epoca-project.eu**

For more research and policy considerations, see the Ocean Acidification Network (**www.oceanacidification.net**), notably the Monaco Declaration, and the Research Priorities Report of the Ocean in a High CO_2 World II Symposium.

U.S. Ocean Carbon and Biogeochemistry program FAQ: **www.whoi.edu/OCB-OA/FAQs**

***Scientific American*, August 2010**

إلى أين يتّسع الكون ويتمدّد؟[*]

يجيب عن هذا السؤال <A. كاشلينسكي>[۱]
الذي طرحه <A. كيني>:

تقدّم فيزياء النسبية العامة التي اكتشفها <A. آينشتاين> في مطلع القرن العشرين وصفا لتطوّر الكون. ووفقا لهذه النظرية، فإن المكان والزمان ليسا كائنين منفصلين بل هما ملتحمان معا ضمن متّصل واحد، ليتمثّلَ الكون كشبكة **زمكان**[۲] رباعي البعد. ومن هذا المنظور، لا يضع التمدّدُ والاتّساعُ الكونَ في منطقة جديدة إضافية، بل إن شبكةَ الزمكان نفسَها تأخذ في التمدّد.

إن مفهومي الزمان والمكان في فيزياء نيوتن السابقة للنسبية (وهي الفيزياء التي تصف حركة النجوم وفقا للقوانين التي اكتشفها نيوتن) هما مفهومان مطلقان، حيث يؤدي الزمن دور وسيط، لا غير، في معادلات الحركة، أمّا **الثقالة** gravity فيُنظر إليها كقوة تجاذبية بين الأجسام التي لها كتلة، ولكن ماهيتها تبقى سرا.

تختلف فيزياء النسبية العامة في مفهومها جذريا عن ذلك، حتى ولو قادت معادلات الحركة فيها إلى معادلات نيوتن في أوضاع عملية كثيرة. تتحدّد خصائص شبكة الزمكان تماما (عبر الثقالة) من خلال طبيعة الأجسام التي تقطن هذه الشبكة. وتسبّب الثقالة انحناء (تحدُّب) متصل الزمكان، وتبعا لذلك توصف النسبية العامة التأثرات **التثاقلية**[۳] بأنها مظهرٌ لهذا الانحناء. وتسقط الأجسام بتأثير الثقالة من المناطق الأقل انحناءً إلى المناطق الأكثر انحناءً.

ووفقا لنظرية آينشتاين في النسبية العامة، لا يمكن للزمكان الحاوي على مادة البقاءَ ساكنا، وعليه إمّا أن يتوسّع أو أن ينكمش. وهكذا لا تتحرّك المجرّات مبتعدةً عن بعضها بعضا بالمعنى الحرفي للكلمة، بل إنها موجودة ومرتبطة بشبكة ثابتة لنسيج بنية الزمكان الآخذ بالاتسّاع والتمدّد، ممّا يعطي الانطباع بأنها تتحرّك بعيدا عن بعضها بعضا. وللتشبيه، تخيّلْ أنك قمتَ بوضعِ نقاطٍ على سطح كرة بالون، ثمّ أخذْتَ في نفخ هذا البالون؛ ستزداد المسافة الفاصلة بين النقاط – التي تماثل حالَ المجرّات– وهكذا لو كنت تعيش فوق إحدى هذه النقاط لأحسست بأن النقاط الأخرى تبتعد عنك. وفي الحقيقة، تبقى النقاط في مواقعها نفسها بالنسبة إلى الإحداثيتين الاثنتين (خطي الطول والعرض) على سطح البالون، وما يتمدّد فعلا هو نسيج بنية البالون.

وضمن إطار النسبية العامة في أربعة أبعاد فقط، ليس ثمة إجابة عن السؤال المطروح، لأنها تقتضي وجودَ إحداثية إضافية خارج الزمكان. وبما أن الزمكان مرتبطٌ بالمادة فلا وجود لما هو خارج سطح البالون – فما هو متوفر هو الزمكان كله لا غير. ■

لِمَ تقع الشمس في وسط المَنظومة الشمسية؟[**]

يجيب عن هذا السؤال <M. A. جوراء>[٤]
الذي طرحه <A. سومرز>.

ينصّ أفضل نموذج لتاريخ منظومتنا الشمسية على أن الكواكب تكونت في قرص مُدَوِّم من الغبار محيط بالشمس، مخلفا مجموعة من الأجسام تقع الشمس في مركزها.

ووفقا لهذا النموذج، تكوّنت المنظومة الشمسية من انهيار وتمدد غيمة بينجمية. وقد يكون قياس القطر الأوليِّ للغيمة سنة ضوئية – وهذا أكبر من قطر الشمس بعشرة ملايين مرة. وخلال تقلص الغيمة وتبردها، تغلبت **ثقالتها** gravity على أي قوى تعمل على وصول المنظومة إلى الاستقرار، وهذا أدى إلى حدوث مزيد من التقلص الشديد.

وقبل هذا الانهيار، ربما كانت الغيمة الأصلية ابتدأت بكتلة ثابتة، ودوران عشوائي طفيف حول محور مركزي ما، وقد ساعد معظم كتلة الغيمة على تكوين الشمس، ولكنِ بعضها تمدد وظلَّ على شكل قرص يحيط بالنجم، الذي تولَّد حديثا. وتشير الأرصاد، التي أُجريت لبقاع أخرى من المجرة، إلى أن الشيء الأكثر احتمالا هو أن يكون هذا القرص قد وَلَّدَ الأرض والكواكب الأخرى، وتركها تدور في مدارات تقع الشمس في مركز كل منها. ■

(*) WHERE IS THE UNIVERSE EXPANDING TO?
(**) WHY IS THE SUN IN THE MIDDLE OF THE SOLAR SYSTEM?
(۱) Alexander Kashlinsky فيزيائي فلكي من مركز كودارد للطيران والفلك التابع للوكالة ناسا.
(۲) space-time زمكان وهذه نحت من زمان–مكان.
(۳) gravitational
(٤) A. Sommers أستاذ الفيزياء الفلكية بجامعة كاليفورنيا في لوس أنجلس.
(التحرير)

متحابّون، لا متقاتلون؟(*)

*تشير أدلة جينية حديثة إلى تزاوج أفراد الإنسان الحديث بأفراد **الإنسان المنتصب** Homo erectus.*

خلال عدة عقود من الزمن، نوقشت بحدة مسألة التزاوج أو الحرب بين أفراد الإنسان الحديث (أفراد النوع ***هومو سابيانس*** *Homo sapiens*) وأسلافنا (***أفراد الإنسان المنتصب*** *Homo erectus*). وفي الوقت الحاضر، يعتقد معظم الباحثين الذين يحاولون قراءة ما قبل التاريخ في «**جينوماتنا**» genomes، أنّنا لا نتضمّن أي أثر عن ماضي نوعنا البشري وأنّنا جميعنا منحدرون من مجموعة كانت قد تركت إفريقيا خلال الـ000 100 سنة الماضية وحلت محل أفراد آخرين من البشر، مثل أفراد الإنسان النياندرتالي، من دون أي تزاوج فيما بينها.

ومع ذلك، يشعر أولئك الذين يؤيدون النظرة الأخرى أن القضية تسير في اتجاههم. يقول .M <كوكس> [من جامعة أريزونا]: «الأشياء التي برزت على السطح لا تتوافق مع النموذج» المتمثّل بهجرة حديثة واحدة من إفريقيا. فهو يعتقد مع زملائه أنّه قد وَجَد الإشارة الأكثر وضوحا حتى الآن على تزاوج أفراد الإنسان الحديث بأفراد الإنسان المنتصب. وهذا الأخير هو نوع من البشر نشأ قبل مليوني سنة ويحتل، كما يعتقد الكثير من العلماء، مكانا في السلالة التي تقود إلى أفراد الإنسان الحديث.

ترتكز قضية سيادة الإفريقيين بصورة رئيسية على دراسات الصبغي (الكروموسوم) Y وعلى **المتقدرة** the mitochondrion، التي هي بنية مولدة للطاقة ضمن الخلية وتمتلك «جينوما» صغيرا خاصا بها تمرره إلى النسل الأنثوي. وترجع جميع الاختلافات الحديثة في هذه التتابعات إلى إفريقيا وتُري أسلافا مشتركة حديثة نسبيا. (يدعّم هذه الفكرة أيضا غياب مستحاثات (أحافير) هجينة واضحة).

ولكن، كما يذكر <كوكس>، هناك الكثير من الأمكنة الأخرى التي تختفي فيها **جينات** genes أقربائنا. وخلال دراسة جينات جماعات حديثة من البشر، عثر <كوكس> مع زملائه على منطقة من الصبغي X تسمى المنطقة *RRM2P4* تُظهر فروقا كبيرة بين الناس في أمكنة مختلفة، وهذا دليل على انشقاق (انقسام) جيني قديم. ولتحديد منشأ الجينات سلسل الباحثون نحو 250 فردا، نصف عددهم من إفريقيا والباقي من الصين وآسيا الوسطى وشعب الباسك من جنوب غرب أوروبا ومن جزر المحيط الهادئ.

ولدى ترجمة الاختلافات في سلاسل الجينات إلى تاريخ تشعبها، استنتج الباحثون أنّ الأشكال المتنوّعة لمناطق *RRM2P4* الأخيرة ترجع إلى سلف مشترك قبل نحو مليوني سنة - أي الزمن الذي هاجر عنده الإنسان المنتصب من إفريقيا إلى آسيا. ويبدو أنّ الشكل المختلف الأقدم قد نشأ في آسيا حيث هو موجود الآن حصرا تقريبا.

ويعتقد <كوكس> أنّ توحيد (ضم) أصول الأزمنة القديمة الكبيرة مع الأصول الآسيوية جدير بالاهتمام؛ إذ توحي المستحاثات أنّ الإنسان المنتصب يمكن أن يكون قد عاش في آسيا حتى قبل 000 30 سنة وعاصر أفراد الإنسان الحديث مدة 000 15 سنة. ويقول <كوكس> : «هذا الجين يكون

اكتشاف الأسلاف في جيناتنا(**)

منذ مدة طويلة، يتناقش الباحثون في نظريتين عامتين عن أصل الإنسان الحديث - حول ما إذا ترك أسلافنا إفريقيا في موجة هجرة واحدة قبل 000 100 سنة، أم ما إذا نشأنا عن موجات هجرات متعدّدة من إفريقيا تزاوج أفرادها فيما بينهم. والشيء الوحيد المتفق عليه هو أن قراءة تاريخنا من جيناتنا مليء بالسقطات. لقد أصبح من السهل الحصول على قدر كبير من البيانات، غير أنّ اختيار التسلسل الذي تستعمله، والعينة التي تأخذها وكيفية تعرّف الجينات الناتجة من **الانتقاء الطبيعي**(1) ومعيقات الهجرة والمجتمعات السكانية، هي أمور عسيرة جدا. وحتى التحاليل البسيطة نسبيا تتضمّن فرضيات وتوقعات مدروسة ويمكن أن تأخذ الآلاف من ساعات العمل على الحاسوب.

(*) LOVERS, NOT FIGHTERS
(**) Finding Ancestors in Our Genes
(1) natural selection أو الاصطفاء الطبيعي.

الأكثر شيوعا تماما أينما توجد مستحاثات الإنسان المنتصب.» وقد وُصف هذا الاكتشاف في عدد الشهر الأول من عام 2008 من مجلة *Genetics*. وقد استخدم الفريق أيضا تقنيات إحصائية جديدة ليبيّن أنّ الجين، وبثقة إحصائية عالية، قد نشأ في آسيا ثم في إفريقيا. وأضاف: إنّ احتمال تزاوج الإنسان المنتصب بأفراد الإنسان الحديث هو احتمال مثير للغاية؛ وذلك لأنّ معظم الباحثين يفكرون في عدم وجود أي دليل على تبادل موادنا الجينية مع النياندرتاليين (أفراد الإنسان النياندرتالي) الذين هم أقرب أقربائنا.



تبعا لدراسة جينية جديدة، ربما يكون أفراد الإنسان الحديث قد تزاوجوا بأفراد الإنسان المنتصب.

لاحظ باحثون آخرون أنّ الكثير من العوامل يمكن أن تُحدث انقسامات جينية عميقة بين المجموعات البشرية. ولا يُحاجّ أحدٌ في أنّ معظم جينومنا له منشأ إفريقي حديث. ولكن هذه الهيمنة تجعل من الصعب تعرّف ما يمكن أن يكون موروثا من تزاوج محدود بسلالات أخرى أو ما يمكن أن يحدث مصادفة. ويفسّر <P. أندرهيل> [الإخصائي في علم الوراثة من جامعة ستانفورد] أنّ بعض المجموعات ستبدي اختلافات كبيرة عبر كامل الجينوم حتى ولو تركت جميعها إفريقيا في الزمن نفسه تقريبا. ويقول: «إنّه لدى رؤية هؤلاء المختلفين، فهل يمثّلون في الواقع شيئا مثيرا أو أنّهم يمثّلون عينة متطرّفة في توزيع عادي؟ بالنسبة إليّ، لا يزال السؤال مطروحا.»

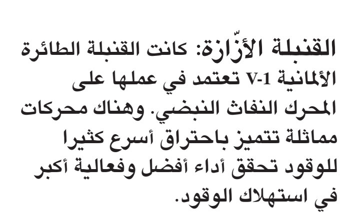
وكبديل لذلك، فمن المحتمل أن شكل المنطقة *RRM2P4* الآسيوي كان موجودا في مجموعة تركت إفريقيا، ثم انقرضت بعد ذلك في تلك القارة؛ وإمّا أنّه ناتج من مجرّد عدم دراسة الباحثين العدد الكافي من الأفارقة لاكتشافه. في الواقع إنّ تسلسل «**الدنا**» DNA الذي ظنّ <كوكس> وزملاؤه أنّه جاء من الإنسان المنتصب، قد وُجد في فرد إفريقي واحد. ويوحي هذا الاكتشاف أنّ منطقة *RRM2P4* الآسيوية قد نشأت على الأرجح في إفريقيا، وهو ما حاول إثباته <P. فورست>، الذي درس ما أصبح معروفا **بعلم الوراثة الآثارية**[1] في جامعة أنگليا راسكين بكامبريدج، في إنگلترا. ويقول: «لقد أفسد هذه القصة كثيرا وجود هذا الجين في إفريقيّ.» ويضيف: إنّه «لم يرَه كدليل مقنع» على اختلاط قديم بين البشر.

وقد رد على ذلك <كوكس> بأنّ تسلسل المنطقة *RRM2P4* الإفريقية الوحيدة متطابق مع المجموعة الآسيوية، موحيا أنّ هذا الشخص قد انحدر على الأرجح من مهاجرين جدد. ولدى الفريق أيضا معلومات أولية عن منطقة «دنا» ثانية تبيّن انشقاقا (انقساما) قديما على حد سواء، حيث تبدو مجموعة من المجموعات أنها آسيوية تماما.

تقول الباحثة في علم الوراثة <R. هاردينگ> [من جامعة أكسفورد] إنّه لا يمكن لجين واحد أن يحسم المسألة. ومع ذلك، ذكرت دراسات متعدّدة أنّ الجينوم البشري يشير إلى بعض الانشقاقات العميقة اللافتة بين المجتمعات. فقد وجد فريقها، على سبيل المثال، أنّ جزءا من مادة **الهيموگلوبين** hemoglobin الجينية يبدو قديما جدا. وإذا استمر تراكم اكتشافات التسلسلات القديمة، فقد يقتنع علماء الوراثة الآثارية بوجود القليل من هيموگلوبولين الإنسان المنتصب في دمنا جميعا. ■

<ل. وايتفيلد>، موجود في لندن.

(١) archaeogenetics



طاقة نبضيّة فوق صوتيّة(*)

أسلحة من الحقبة النازية تقود إلى صنع محركات للطائرات مقتّرة في استهلاكها للوقود.

خلال سنة تقريبا بعد إطلاق ألمانيا النازية قنبلتها الطائرة V-1 في الشهر 1944/6، كان هذا الصاروخ الطوافي البدائي وغير المتقن الصنع ينزل الكوارث بالمدن والأرياف الإنكليزية والبلجيكية وينشر فيها الذعر والقلق بصوته الأزّاز المرعب قبل أن يمطرها بوابل عشوائي من الموت والدمار. ويقوم المهندسون حاليا بتطوير عمل هذا المحرك النفاث النبضي - تلك الوحدة البسيطة ولكن الكثيرة الضجيج والمسرفة في استهلاك الوقود، التي كانت تؤمن قوة الدفع للقنبلة الأزّازة - بهدف تحويله إلى محرك خفيف وقوي يعتمد توليد الدفع فيه بفعالية كبيرة على دورات الاحتراق المتكررة الناجمة عن الموجات الصدمية. وخلال عقد أو عقدين من الزمن، سوف يصبح مثل هذا النوع من المحركات الانفجارية النبضية قادرا على تزويد عدد كبير من أنواع الطائرات بالقوة المحرّكة.

تصنّف المحركات النفاثة النبضية بين أبسط أنواع المحركات، كما يشرح <N. جوشي> [رئيس إحدى مجموعات البحث في شركة جنرال إلكتريك بنيسكايونا بولاية نيويورك]. فهذا الجهاز، على الرغم من خلوه من المكبس، يشبه في كثير من النواحي أسطوانة الاحتراق الموجودة في محركات السيارات العادية. وتكمن طريقة عمله الأساسية بما يلي: خذ أنبوبا معدنيا قصيرا وضع عند أحد طرفيه صمامات حاقنة يمكنها أن تتحكم بسرعة في كمية الوقود والهواء المضغوط الداخلة إلى الأنبوب؛ ثم انفث فيه كميات ضئيلة من الوقود والهواء لتوليد مزيج قابل للاشتعال، وأشعله بواسطة شمعة الإشعال. تتولد نتيجة الاحتراق العادي للوقود غازات احتراق يتمدد حجمها وتندفع خارجة من الطرف الثاني للأنبوب مصدرة صفيرا ومولدة قوة دفع. بعد ذلك، كرر هذه العملية مرارا، بمعدل 50 مرة في الثانية (وهو التردد الذي يولّد صوت الأزيز المقوت للمحرك). ومع أن نظام المحرك النفّاث النبضي بسيط وفعال، فإن استهلاكه للوقود بطيء نسبيا واحتراقه غير تام، ما يجعل عملية الاحتراق غير كفؤة.

ولكن، إذا حُقن الوقود والهواء وأُشعلا بطريقة تجعل جبهة اللهب المتولدة من الشرارة تتسارع خلال عبورها المزيج نحو طرف أنبوب أطول من الأول، أمكن أن يبلغ الاحتراق عندئذ سرعات تناهز خمسة أضعاف سرعة الصوت. ينتج هذا النوع من الاحتراق السريع والتام من التفاعل فوق الصوتي الشديد الفعالية الذي يؤدي بالدرجة الأولى إلى انفجار المزيج أو صعقه، ومن ثم إلى توليد كمية أكبر من الطاقة من الكمية نفسها من الوقود. وتجدر الإشارة إلى أن الانفجارات في هذه المحركات الانفجارية النبضية تكون مضبوطة على فترات زمنية تساوي بضع عشرات من الميلّي ثانية، أي بوتيرة أسرع بمرتين مما يحدث في المحركات النفاثة النبضية.

وخلال العقد الماضي، تمكن الباحثون من اكتساب معرفة أوسع للفيزياء التي تحكم الانفجار النبضي، وذلك بعد أن وضعوا نموذجا حاسوبيا للسلوك المعقد لعملية الاحتراق وقاموا بمطابقة النتائج التي حصلوا عليها مع الفحوص المختبرية. وفي تلك الأثناء، استفاد المهندسون من تلك الدراسات من أجل تطوير نماذج أولية من محركات الانفجار النبضي تستطيع دفع الصواريخ فوق الصوتية النافثة للهواء أو إطلاق المركبات الفضائية من المدار أو رفع مردود أجهزة الاحتراق اللاحق المستخدمة

القنبلة الأزّازة: كانت القنبلة الطائرة الألمانية V-1 تعتمد في عملها على المحرك النفاث النبضي. وهناك محركات مماثلة تتميز باحتراق أسرع كثيرا للوقود تحقق أداء أفضل وفعالية أكبر في استهلاك الوقود.

تطبيقات فرعية مثيرة(**)

إضافة إلى إيجاد السبل الكفيلة بتزويد الطائرات بالقوة المحركة، فقد استفاد المهندسون من فهمهم الأساسي للمحركات الانفجارية النبضية من أجل ابتكار منتجات فرعية مصممة لتنظيف الرماد الذي يصعب التخلص منه عادة والذي يلوث الجوانب الداخلية لأنابيب التبادل الحراري في الغلايات الصناعية. ويستطيع كل من جهاز الصدم شوكسيستم Shocksystem الذي تنتجه شركة برات أند ويتني، وجهاز باورويف بلاس +Powerwave الذي تنتجه شركة جنرال إلكتريك، إزالة رواسب السخام العالقة بواسطة الموجات الصدمية التي يولدها الانفجار النبضي.

(*) SUPERSONIC PULSE POWER
(**) Shocking Spin-off

في الطائرات المقاتلة. ولكن المحصّلة الكبيرة لهذه الأعمال تمثلت، بحسب قول <G. ليدستون> [مدير القسم الهندسي في فرع شركة پرات أند ويتني في سياتل]، بابتكار محرك انفجاري توربيني - نبضي هجين. ففي مثل هذا الجهاز، تحل أنابيب الانفجار النبضي محل جزء من الضاغط المركزي وحجرة الاحتراق لتوربين غازي. وهذا النوع من التصميم قادر على تحسين فعالية الوقود في المروحة التوربينية المزودة بتفريع جانبي مرتفع، وفي الوقت نفسه كبت الضجيج الصادر عن غرفة الاحتراق والشبيه بصوت المطرقة التي تعمل بالهواء المضغوط.

ومؤخرا، أنهى مهندسو شركة پرات أند ويتني تجاربهم الاختبارية على حجرة احتراق انفجارية نبضية نجحت في حرق الوقود النفّاث داخل أنبوب يبلغ قطره بوصتين، حتى عندما يكون الوقود معرضا لمحاكاة ضغط عكسي تسببه تيارات عجلات التوربين. وتقوم الشركة، بعد حصولها على دعم من الوكالة الأمريكية للفضاء (ناسا) والقوات الجوية الأمريكية، بوضع العدة اللازمة لتقييم استخدام هذه التقانة في محرك هجين يمكن تجربته أثناء الطيران. وفي الوقت نفسه، تقوم مجموعة <جوشي> في شركة جنرال إلكتريك بدراسة حجرة احتراق نبضي تشتمل على ثلاثة أنابيب بقطر بوصتين وضمها إلى توربين بقوة 100 حصان وقطر ست بوصات، وهو التوربين الذي يؤدي عمل بادىء تدفق الوقود في الطائرة الهجومية وارتوگ A-10.

ينبّه <جوشي> إلى أن هناك الكثير من التحديات الباقية التي ينبغي العمل على مواجهتها، من بينها تطوير صمام سريع الفعل فائق المتانة، إضافة إلى منظومات التحكّم التابعة له، ومكونات مقاومة للكلال الميكانيكي الشديد الناجم عن الاحتراق النبضي، وأنابيب احتراق تتناسب مع الحجم الداخلي للتوربين العادي. ولكن، إذا تمكن المهندسون من تذليل مثل هذه الصعوبات، فإن المحركات الهجينة تصبح قادرة على خفض استهلاك الوقود بنسبة 5 في المئة أو أكثر، ما يسمح لشركات الطيران بتوفير ملايين الدولارات من نفقات الوقود سنويا وبالحد من الكميات المنبعثة في الجو من ثاني أكسيد الكربون. وبالتأكيد، من شأن مثل هذه الفوائد أن ترسل نبضات بشرية تنتشر بسرعة كبيرة في مجتمع الفضاء الجوي بأسره. ■

<S. أشلي>

يؤدي تسارع احتراق الوقود عبر الأنبوب إلى بلوغ سرعات فوق صوتية تسمح بالحصول على طاقة أكبر من الكمية نفسها من الوقود.

وعد الخلية الأم(*)

يستمر علم أحياء الخلية الجذعية بالتلميح إلى منافع طبية قادمة.

اتجاه بحثي حديث يصوب الهدف نحو الخلايا الجذعية لشخص ما والمحافظة على الأجنة أيضا - إيماءً للنقاد الأقوياء مثل الرئيس <G. W. بوش>. حتى ولو بقي الجنين سليما - وهو الهدف من هذه الدراسات - فما زال من غير الواضح ما إذا كانت هذه الطرق سوف ترضي الرئيس <بوش> والآخرين الذين شجبوا ما يشعرون بأنه عبث غير أخلاقي بمادة الحياة.

<K. E. إيگان> وزملاؤه [في معهد هارڤارد للخلايا الجذعية] دمجوا خلايا جذعية جنينية في خلايا الجلد، أو أرومة ليفية، مخلقين خلايا مندمجة أعادت برمجة نفسها لتشبه وراثيا الخلايا الجذعية الجنينية بحيث طابقت الخلايا الجلدية للمانح. هذه الخلايا ربما تمتلك الإمكانية لتتحول إلى أي نوع من الخلايا الأخرى وبذلك ربما لا تحتاج إلى إجراءات **التنسيل**[1] التي تستلزم إتلاف الجنين.

مرة أخرى، وَعْدُ الخلايا الجذعية قد أعيد

(*) THE PROMISE OF THE MOTHER CELL

(1) cloning

التتمة في الصفحة 94

ثمة حاجة كبيرة إلى اختبار صغير(*)

*من الجدير بوكالة حماية البيئة (EPA) المبادرة إلى تقييم المخاطر الصحيَّة المحتملة **للتقانة النانوية**[١].*

هيئة تحرير *ساينتفيك* أمريكان

قبل عقد من الزمن كان الهاجس الأكبر المقلِق بشـأن التقانة النانوية يتمثّل بأنها قادرة حقّا على أن تُلحِق بالأَرض الدَّمار. وقد أكّد ذلك <B. جُوْي> [أحد مؤسِّسي شركة Sun Microsystems]، في مقالته المعنونة: «لماذا لا يحتاج المستقبلُ إلينا» بقوله إن بإمكان **الإنسالات**[٢] **النانوية**[٣]، التي تتجمَّع ذاتيا، الانتشار إلى حدٍّ ينفلت فيه زمامُ السيطرة من أيدينا. فإذا ما تبرمجت هذه الكائناتُ الحسّاسة - عمدا أو عَرَضا - لتتناسخ إلى ما لانهاية، انتشرت عبر الامتداد الأرضي على صورة مادة لزجة رمادية من الدمار الماحق الذي يلتهم الأرضَ وجميع ما يعيش عليها من كائنات.

ولا يسعنا اليوم إلا أن نأمل بأن تكون تصوُّراتُنا عن انمحاق كوكبنا بعيدةَ الاحتمال. أما مصادر قلقنا الحالية المتعلقة بوجودنا فتتمحوَر حول المخاطر القريبة المباشرة، المتمثّلة بظاهرة **الاحترار العالمي**[٤] والمرض بخاصة. وإذا كان ثَـمَّ دورٌ للتقانة النانوية بهذا الصَّدد، فهو أنها قد تبزغ - ضمن تركيب الألواح الشمسية المطوَّرة أو **العَنَفات (التوربينات)** turbines الهوائية أو آليات توزيع الأدوية - أداة مهمَّة للتصدي لهذه المخاطر.

على أن **الأدوات النانوية** nanomaterials، شأنَ أيِّ تقانة جديدة، تحمل في طياتها مَظنَّة النفع والضرر في آن معا. فأبرز مظاهر القلق لا تتعلق بالدمار المقترن بمادة لزجة رمادية اللون، بل باحتمال واقعيٍّ مرجَّح هو أن بعض هذه الأدوات غير المسبوقة ربما يتحوَّل ليصبح خَطرا على صحتنا أو على البيئة. وفي حين تبدي المـوادُّ العادية المألوفة خواصَّ فريدة على المستوى النانوي، فإن شذرات نانومترية القياس لمادة حميدة ظاهريا، قد تتكشَّف فيما بعدُ عن خطر وبيل. يقول <D. J. يونگ> و <J. مارتل> في مقالتهما بعنوان «صعود البكتيريا النانوية وهبوطها» [انظر: «*صعود نجم البكتيريا النانوية وأفوله*»، **العلوم**، العددان 8/7 (2010)، صفحة 38] إنَّ **الجسيمات النانوية** nanoparticulates، حتى تلك التي تتكوَّن بصورة طبيعية، قد تنطوي على آثار ضارَّة بجسم الإنسان. فإذا استطاعت الجسيماتُ النانوية الطبيعية أن تحمل إلينا الأذى، فحريٌّ بنا أن نتعامل بحذر مع الآثار المحتملة للأدوات النانوية المبتدَعة. ومن ثم، فإن حجمَ الجسيمات النانوية يعني أنها مهيَّأة للنفاذ إلى البيئة والتسرُّب عميقا إلى الأعضاء الداخلية لجسم الإنسان كالرئتين والكبد. ومما يزيد الطينَ بلَّةً أن كلَّ أداة نانوية في حدِّ ذاتها فريدة في خصائصها؛ فمع أن الباحثين أجروا عددا من الدراسات تناولت الأخطار الصحيّة لأدوات نانوية إفرادية، فإن مثل هذا الأسلوب العشوائي من الاختبار لا يرقى إلى إعطاء صورة شاملة للمخاطر المحتملة - كتحديد بيانات كمِّية عن موادَّ محدَّدة عند درجات معيَّنة من التركيز، وتحديد المدة الزمنية لتأثيرها في الجسم.

واستجابة لهذا الشك، أعلنت وكالةُ حماية البيئة(EPA) في الولايات المتحدة منذ عهد قريب عن استراتيجية بحث معتبَرة لدراسة الآثار الصحيّة والبيئية للأدوات النانوية؛ وهي خطوة لاقت قبولا واعتمادا من جهات عديدة على مدى سنوات. ونرجو أن يسهم البرنامجُ في بناء قاعدة بيانات رصينة، تقدِّم لصنَّاع السياسات، وللجمهور عموما، الحقائقَ اللازمة لإدراك المخاطر الصحية التي يمكن أن تسبِّبها أدوات نانوية بعينها. وإذ ليس من الحكمة التسرُّع في إطلاق مشروعات بحث دقيقة، فلا شك في أن السرعة هنا عامل جدُّ مهم. وطبقا لإحصاءات مشروع التقانات النانوية البازغة، يتوفَّر حاليا في الولايات المتحدة وحدها أكثر من 1000 منتج استهلاكي يحوي موادَّ نانوية، وهو رقم يتنامى بسرعة.

ونؤكِّد على السرعة أيضا بالنظر إلى التجربة القريبة المثيرة للوكالة EPA مع برنامج بحث مشابه. ففي عام 1996 كلَّف الكونگرس الوكالةَ EPA بإدارة برنامج مصوَّر شامل عن موادَّ كيميائية موجودة في البيئة، تسبِّب خللا في

(*) BIG NEED FOR A LITTLE TESTING

(١) nanotechnology: فرع جديد من الهندسة، انقلابيُّ الأثر، ما زال عموما في مرحلة البحث والتطوير، يُعنى بصُنع المادة وقياسها بمستوى يقارب الذرِّي.

(٢) إنسالات مفردها إنسالة؛ وهي نحت من إنسان-آلة.

(٣) nanobots (اختصار لـ: nanorobots): الأدوات والتجهيزات الدقيقة التي هي نِتاج التقانة النانوية، ولا يتجاوز قياسُها 0.1 - 10 ميكرومتر.

(٤) global warming

وظائف الغـــدد الصُّم، فوُجِدَ أن هذه المـــواد الكيميائية تعيق عمل المنظومة الهرمونية في الجســـم، وقد تؤدي إلى نموٍّ غير سويٍّ في الأعضاء التناسلية، وإلى العُقم والسرطان. ومع أن الولايات المتحدة حظرت إنتاجَ معطّلات الغدد الصُّم المعروفة، مثـل PCBs[1] وDDT[2]، فـإن ثمة موادَّ كيميائية أخرى شـائعة - ولاسـيما مستحضَر بيسـفينول A(BPA) وبعض مبيدات الآفات - ربما تؤثِّر أيضا في منظومة الغدد الصُّم في الجسم.

ومما يؤسَـف له حقا أن تكون اسـتجابةُ الوكالة EPA، وهي الوكالـة الحكوميـة المعنيَّـة أولا وبالذات بتوجيـه الكونگرس، متراخيـة جدا؛ فبدلا من أنٍ تبادر على الفور إلى دراسـة آلاف المواد المشـتبَه فيها من معطلات الغدد الصُّم، والمحتمل وجودها في مياه الشرب، كرست السـنوات العشر التالية لإعداد شبكة معقَّدة من اللجان الرئيسـية والفرعية لتقييم المواد التي تستحق الدراسة والطرائق التي يتعيَّن انتهاجُها لدراستها. وبحلول عام 2002 - أي بعد سـتِّ سنوات من بدء البرنامج - كان أقصى ما انتهت إليه الوكالةُ هو إقرار الخطة التي رسمتها لاختيار أول 50 إلى 100 مادة من المواد الكيميائية التي سـتُخضَع للتحليل. وفي عام 2007 نشـرت الوكالة لائحة أوَّلية بهذه المواد. وفي الشـهر 2009/4 أُقـرَّت اللائحةَ بصورتها النهائية. وفي أواخر الشـهر 2009/10، أي بعـد مرور 13 سـنة على انطـلاق البرنامج، جاء إعلانُ الوكالة أخيرا بالشروع في الأبحاث.

ويجدر بالدولة ألا تكـرِّر مثل هذه المهزلة - لدواعٍ لا تنحصر بالصحة العامة فقط؛ فانتشـار عدد كبير مـن الموادِّ النانوية في الأسـواق، مع غياب المعرفة الكافية لدى العامة من الناس بالتقانة النانوية، جدير بأن يجعل هاجسـا واحدا من مخاوف السـلامة كافيا لإقناع المستهلكين بأن التقانة النانوية جميعها ضارة. (تأمَّل مثلا موقفَ أوروبا من مسـألة التعديـل الجيني، وكيف يمكن أن تنقلـب ثقافةٌ معيَّنـة على صنف كامل من التجديـد.) كذلك، فإن غياب التوجيه العلمي الواضح المسـتنِد إلى القانون يحمل الكثيرَ من الشركات على التردُّد في الاستثمار في مضمار أبحاث وتطوير التقانة النانوية، خشـية التعرُّض للمساءلة القانونية التي يمكن أن تنشـأ إذا ما صُنِّفت تقانة يوما علـى أنها خَطِرة. ومن أمثلة ذلك أن الشـركة پروكتر وگامبـل Procter & Gamble لا تعتمد التقانةَ النانوية خوفا من الدخول في قضايا قانونية طويلة الأمد.

إن موقـف الشـكِّ والتـردُّد هـذا يجعـل صحـةَ الناس عرضة للخطر، ويكبت في نفوسـهم روح الابتكار والتجديد. وما أحوجنا - إزاء الأخطار التي تحدق بكوكبنا - إلى كل لمحة إبداع صغيرة نحصِّلها ما استطعنا إلى ذلك من سبيل. ■

(1) polychlorinated biphenyls: ثنائيات الفينيل المفرطة الكلورة (ملوِّثٌ بيئيٌّ صناعي).
(2) dichloro-dipheny1-trichloro-ethane (مبيد حشري).

تتمة الصفحة 92 (أخبار علمية)

تأكيده بواسـطة العلاج التجريبـي لمعالجة المرضى المصابين **بالذئبـة**[1] - مـرض تسـتهدفُ فيه الجملـةُ المناعية للمريض نسيج جسده. فقد أزالت مجموعة بقيادة <R. K. برت> [من كلية فينبرگ للطب في جامعة نورث وسـتيرن] الخلايا الجذعية من نقي عظام المريض. وبعد ذلك، محت الأدوية جموع خلايا الدم البيضاء قبل إعادة الخلايا الجذعية إلى الجسد، حيث شكلت خلايا دم بيضاء جديدة، بحيث تكون احتمالية إنتاجها **لأضداد** antibodies تسبب الضرر، أقل. وفي دراسة شملت 48 مريضا، تخلص نصف عدد هؤلاء من المرض بعد خمس سنوات.

إن تحديـد كيفية تمايـز الخلايا الجذعيـة الجنينية إلى خلايا ناضجة ربما يسمح أخيرا بتطوير طرق لإعادة برمجة الخلايا البالغة. هذه التقنيات ربما تسـمح للخلايا الناضجة بأن تعود إلى حالة **تعدد الوسع** pluripotent، التي تكون فيها قـادرة على التحـول إلى أنـواع مختلفـة مـن الخلايـا. وقـد أثبـت <L. A. بوير> و <R. A. يونگ> [من معهد وايتهيد للأبحاث البيو - طبية] وزملاؤهما كيفية تحكم ثلاثة پروتينات في هذه العملية.

وهناك اكتشـاف بحثي آخر أبرز أهمية سـبر التعقيدات في علم أحياء الخلية الجذعية من دون أن يلبي متطلب المنفعة الطبية العاجلة. وأثبتت <S. L. لندكويست> [من معهد وايتهيد] ومعاونوها أن پروتين **الپريون** prion (الذي يؤدي تشوهه إلى مرض جنون البقر) يمتلك في حالته الطبيعية وظيفة حاسـمة مرتبطة بالخلية الجذعية في الجسم. ويبدو أن الپروتين يساعد على تنشئة وصيانة مصدر الجسم من الخلايا الجذعية التي تنتج خلايا الدم.

إن قرار الرئيس <بوش> بتقيد أبحاث الخلية الجذعية بالـ78 سـلالة خلوية الموجودة قد أعاق هذا المجـال. فاليوم تكون السـلالات الخلوية القادرة على الحيـاة أقل كثيرا من العدد الأصلي المسـموح بـه، والعديـد منها ملوث. وقد حاول كل من <D. ديگيت> [النائبـة الديموقراطيـة عن ولايـة كلورادو] و <M. كاسـتل> [النائـب الجمهوري عـن ديلاوير] تخفيض القيـود، وقد نجحا في الحصول على الدعم من زملائهما في الكونگرس، ولكنهما في النهايـة أُحرجا بطريقة مهينة بقرار الرفض (الڤيتو) للرئيس <بوش> - وهو الڤيتو الأول لحكومته. إننا نحتاج إلى التزام متحرر من الاعتبارات السياسية لمواصلة الأبحاث الأساسية على الخلية الجذعية[2]. ■

<G. ستيكس>

(1) lupus
(2) وهـذا ما تحقق بتاريخ 2009/3/9 بقـرار الرئيس <أوباما>، برفع الحظر عن تمويل أبحاث الخلايا الجذعية. وفي هـذا القرار، رفض صريح «للاختيار الخاطئ» بين العلم والسلوك القويم. (التحرير)

Majallat AlOloom September / October - 2010 Volume 26 Number 9/10 SCIENTIFIC AMERICAN



SCIENTIFIC AMERICAN®
Established 1845

EDITOR IN CHIEF: Mariette DiChristina
MANAGING EDITOR: Ricki L. Rusting
CHIEF NEWS EDITOR: Philip M. Yam
SEnIor writeR: Gary Stix
EDITORS: Davide Castelvecchi, Graham P. Collins, Mark Fischetti, Steve Mirsky, Michael Moyer, George Musser, Christine Soares, Kate Wong
CONTRIBUTING EDITORS: Mark Alpert, Steven Ashley, Stuart F. Brown, W. Wayt Gibbs, Marguerite Holloway, Christie Nicholson, Michelle Press, John Rennie, Michael Shermer, Sarah Simpson

ASSOCIATE EDITORS, ONLINE: David Biello, Larry Greenemeier
NEWS REPORTER, ONLINE: John Matson
ART DIRECTOR, ONLINE: Ryan Reid

ART DIRECTOR: Edward Bell
ASSISTANT ART DIRECTOR: Jen Christiansen
PHOTOGRAPHY EDITOR: Monica Bradley

COPY DIRECTOR: Maria-Christina Keller

EDITORIAL ADMINISTRATOR: Avonelle Wing
SENIOR SECRETARY: Maya Harty

COPY AND PRODUCTION, NATURE PUBLISHING GROUP:
SENIOR COPY EDITOR, NPG: Daniel C. Schlenoff
COPY EDITOR, NPG: Michael Battaglia
EDITORIAL ASSISTANT, NPG: Ann Chin
MANAGING PRODUCTION EDITOR, NPG: Richard Hunt
SENIOR PRODUCTION EDITOR, NPG: Michelle Wright

PRODUCTION MANAGER: Christina Hippeli
ADVERTISING PRODUCTION MANAGER: Carl Cherebin
PREPRESS AND QUALITY MANAGER: Silvia De Santis
CUSTOM PUBLISHING MANAGER: Madelyn Keyes-Milch

PRESIDENT: Steven Inchcoombe
VICE PRESIDENT, OPERATIONS AND ADMINISTRATION: Frances Newburg

VICE PRESIDENT, FINANCE AND BUSINESS DEVELOPMENT: Michael Florek
BUSINESS MANAGER: Marie Maher

Letters to the Editor

Scientific American
75 Varick Street, 9th Floor,
New York, NY 10013-1917
or editors@SciAm.com

Letters may be edited for length and clarity. We regret that we cannot answer each one. Post a comment on any article instantly at www.ScientificAmerican.com/sciammag